

令和5年6月2日

農業研究開発投資による開発途上国の将来のトウモロコシ収量増加を維持するには気候変動の緩和が不可欠

福島大学共生システム理工学類の吉田龍平准教授は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構）の飯泉仁之直上級研究員と共同で、政府など公的機関による農業分野への研究開発投資（農業研究開発投資）により期待される開発途上国での将来のトウモロコシ収量の伸びが、気候変動により鈍るおそれがあることを明らかにしました。

- 気温上昇が+2.4℃シナリオの収量増加率は+1.7℃シナリオの半分に留まる
- 開発途上国での将来の収量増加を維持するためには気候緩和^{注1}が不可欠

本研究成果が国際学術誌「Environmental Research Letters」のオンライン版に掲載されましたのでご報告いたします。

研究成果のポイント

- ✓ 今世紀半ばには97億人に達する世界の食料需要に応えるため、食料生産性の向上が求められています。農業研究開発投資は収量（単位面積当たりの収穫量）をこれまで増加させてきましたが、生育期間の気温の上昇により収量の伸びが近年鈍化している可能性が指摘されています。
- ✓ 本研究では主要穀物のトウモロコシを対象に、5つの社会経済シナリオと連動した農業研究開発投資の将来シナリオ^{注2}に基づき、収量の増加が今世紀半ばの気候変動で受ける影響を推定しました。低所得国では高・中所得国で既に利用されている増収技術の導入により収量が将来伸びる余地が大きいものの、気候変動が著しい場合（+2.4℃）の収量増加率15.6%は、気候変動が緩和される場合（+1.7℃）の収量増加率27.2%に比べて、収量の伸びが半減する可能性があることがわかりました。
- ✓ 人口の増加が著しい開発途上国において、農業研究開発投資による食料生産性の向上を継続するために気候変動の緩和が不可欠です。

◎研究の背景

世界の人口は今世紀半ばに 97 億人に達すると見込まれており、収量の増加が今後の食料需要を支える鍵の一つです。各国政府などの農業研究開発投資で収量は増加してきましたが、気候変動が収量の伸びを鈍化させている可能性が近年指摘されています。本研究では、開発途上国の主食の一つであり、気候変動の影響が主要穀物の中で特に大きいと懸念されているトウモロコシを対象に、農業研究開発投資による収量増加が気候変動の進行で受ける影響を推定しました。

◎研究手法

作物の生理・生態的な生育過程を数式で表現した収量モデル^{注3}に、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の最新の気候変動予測^{注4}と社会経済シナリオ^{注5}を入力し、今世紀半ば（2041-2060年）の収量の将来見通しの結果を解析しました。気温上昇が小さいシナリオ（1850-1900年の工業化以前に対する今世紀半ばの世界の平均気温が+1.7°C）と気温上昇が大きいシナリオ（+2.4°C）のそれぞれについて5つの社会経済シナリオから計算した農業研究開発投資10億ドルあたりの収量増加率（対：1995-2005年の平均収量）をトウモロコシ生産国71か国に対して算出しました。算出した収量増加率は、世界銀行の区分による4つの所得水準（高所得国、高中所得国、低中所得国、低所得国）ごとに集計し、2つの気温上昇シナリオ間で比較を行いました。なお、それぞれの所得水準において、農業研究開発投資10億ドルは2005年の値に対する16.6%（高所得国）、15.8%（高中所得国）、156.6%（低中所得国）、552.4%（低所得国）に相当します。

◎研究成果

気候変動の緩和が進んで気温の上昇が抑えられる+1.7°Cシナリオでは農業研究開発投資に応じて収量の増加が続くものの、気候変動が緩和されず気温が大きく上昇する+2.4°Cシナリオでは今世紀半ばに収量の伸びは頭打ちになると推定されました（図1）。この傾向は低所得国で顕著でした。

また、低所得国では、高所得国や中所得国に比べて、将来の農業研究開発投資額あたりの収量の伸びの推計値が大きい傾向があります。これは現在の収量水準が低く、高・中所得国で既に使用されている増収技術が今後普及する余地が大きいからです。2つの気候変動シナリオを比較すると、低所得国では+2.4°Cシナリオでの農業研究開発投資10億ドルあたりの収量の伸びは15.6%（当該所得水準に区分される複数の国の推計値の中央値）と推計され、+1.7°Cシナリオでの27.2%の約半分と見積もられました（図2）。一方、高所得国での収量の伸びは+2.4°Cシナリオでは0.6%、+1.7°Cシナリオでは1.0%との結果でした。ただし、今回の推計では、既に収量が高い高所得国の収量をさらに増加させる技術の将

来シナリオについては考慮していません。

◎本研究の意義と今後の課題

開発途上国の中でも低所得国は現在の収量水準が低く、増収技術の普及によって収量の大きな増加が見込まれます。しかし、今回の研究結果は、気候変動が進行した場合、低所得国では農業研究開発投資に対するリターンが減少することを示しています。食料生産性の向上と温暖化の緩和は持続可能な開発目標（SDGs）の目標2「飢餓をゼロに」と目標13「気候変動に具体的な対策を」にそれぞれ掲げられています。本研究の結果は、増加がとりわけ著しい開発途上国の人口を養うために農業研究開発投資の増収効果を維持・向上することがより求められる今後において、気候変動の緩和が不可欠であることを示しています。

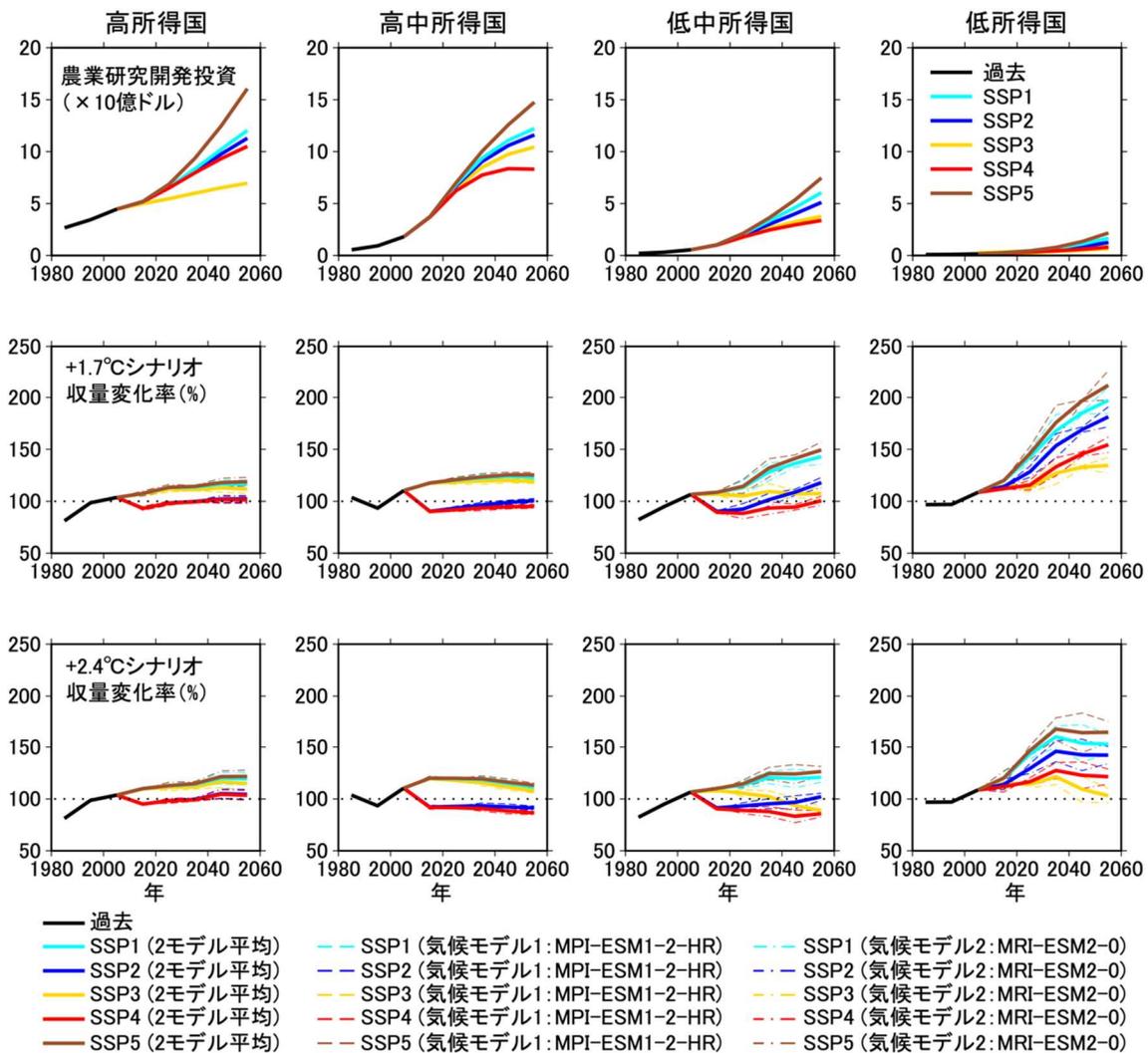


図1 農業研究開発投資とトウモロコシ収量の将来変化。

上段は所得水準ごとの農業研究開発投資（単位：10億ドル），中段は気候変動が緩和されるシナリオ（+1.7°C）のトウモロコシ収量の変化率（現在の平均収量＝100%），下段は気候変動の進行が著しいシナリオ（+2.4°C）でのトウモロコシ収量の変化率。SSP1～SSP5は5つの社会経済シナリオ^{注5}を表す。黒線は過去，点線と一点鎖線はそれぞれドイツのマックス・プランク研究所で開発された気候モデル（MPI-ESM1-2-HR）と日本の気象研究所で開発された気候モデル（MRI-ESM2-0）の気候変動予測に基づいて推計された将来の収量変化，実線は2つの気候モデルによる予測の平均値を表す。

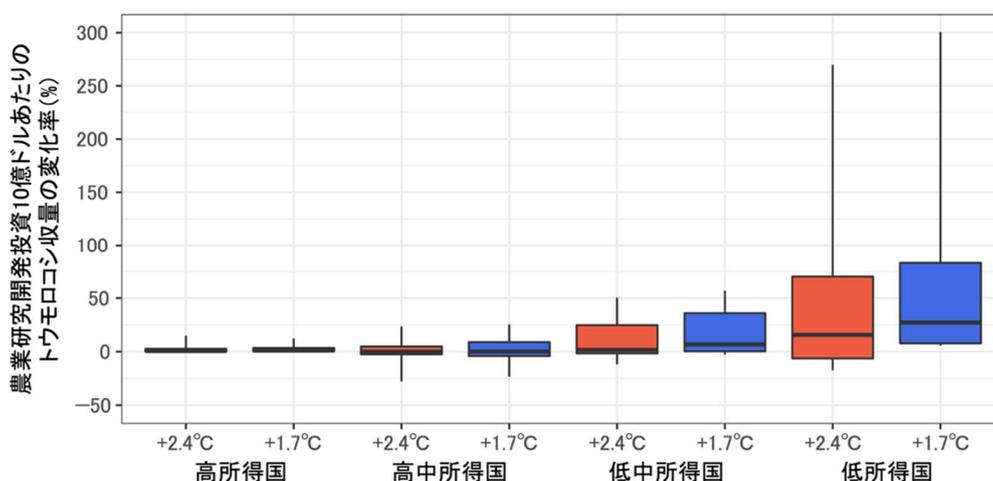


図2 農業研究開発投資10億ドルあたりのトウモロコシ収量の変化率（対：現在の平均収量）。変化率100%は現在の収量の2倍に相当する。赤色は気候変動の進行が著しいシナリオ（2041-2060年の気温上昇が+2.4°C）、青色は気候変動が緩和されるシナリオ（同+1.7°C）。箱ひげはそれぞれの所得水準に区分された国のばらつきを表し、ひげは上位10%と下位10%、箱は上位25%と下位25%、横線は50%の値を表す。

◎掲載論文情報

【タイトル】 Climate mitigation sustains agricultural research and development expenditure returns for maize yield improvement in developing countries.（気候緩和は発展途上国における農業研究開発投資に対するトウモロコシ収量のリターンを維持する）

【著者と所属】 吉田龍平¹・飯泉仁之直²

¹ 福島大学 共生システム理工学類 准教授

² 農研機構 農業環境研究部門 上級研究員

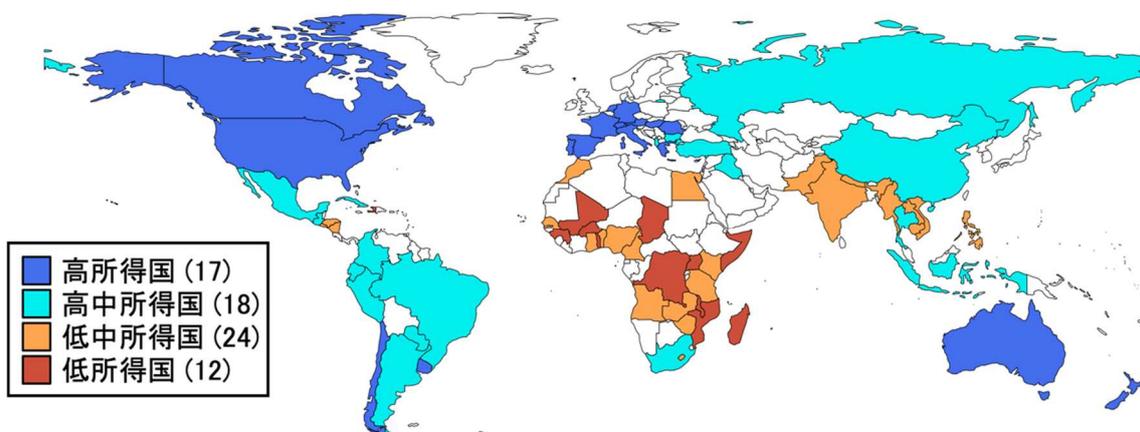
【掲載誌】 Environmental Research Letters
（エンバイラメンタル リサーチ レターズ）

【公開日】 2023年4月3日付でオンライン公開

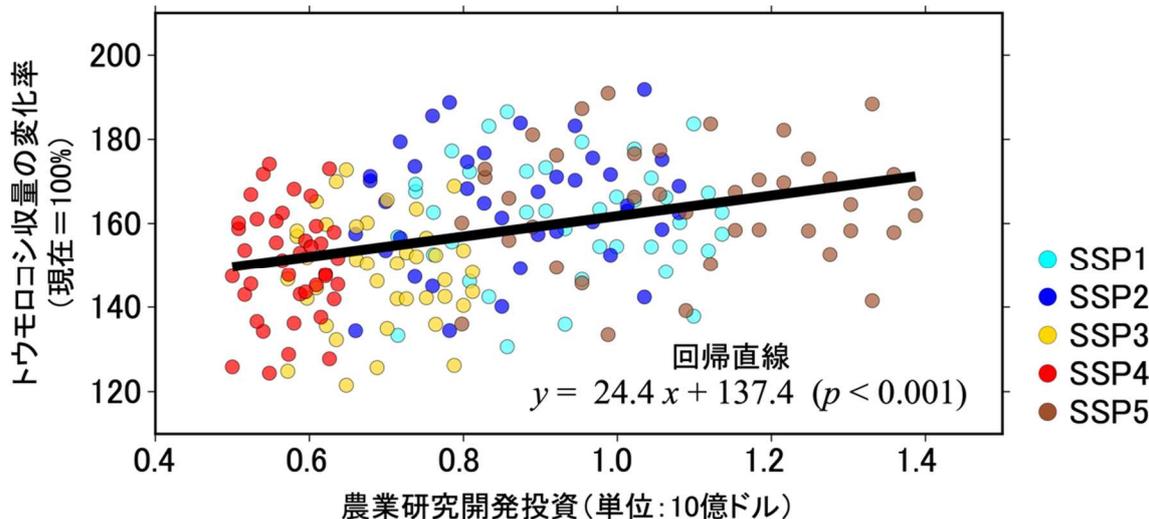
【DOI】 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acc543>

【研究費】 文部科学省科学研究費補助金（20K12191, 21K01024）、環境省・（独）環境再生保全機構「環境研究総合推進費」（JPMEERF20202005）

◎参考図



参考図 1 解析に用いた国の分布. 世界銀行が公開する所得水準区分を用いた. 高所得国は 2020 年の国民総所得 GNI が 12,535 ドルより高い国 (17 ヶ国), 高中所得国は 4,046-12,535 ドル (18 ヶ国), 低中所得国は 1,036-4,045 ドル (24 ヶ国), 低所得国は 1,036 ドル未満 (12 ヶ国). 白色は 1996-2005 年平均のトウモロコシ生産量が 10 万トン未満あるいは解析に必要な収量や農業研究開発投資のデータが不足しているために今回の解析対象外とした国・地域.



参考図 2 気候変動が緩和されるシナリオ (+1.7°C) のコロンビアにおける農業研究開発投資に対するトウモロコシ収量の変化率 (単位: %). 5 つの社会経済シナリオ (SSP1~SSP5) に基づく農業研究開発投資と推計したトウモロコシ収量を関連づけ (黒線), 農業研究開発投資 10 億ドルあたりの平均の収量変化率を求めた. 黒線の傾きが収量変化率を表し, この場合農業研究開発投資 10 億ドルに対してトウモロコシ収量が 24.4%増加することを表している.

◎用語解説

注1) 気候緩和

温室効果ガスの排出を削減，あるいは植林や土壌炭素を増加させる農地管理等を行うことによって陸上の吸収量を増加させ大気中の温室効果ガス濃度の上昇を抑えること。

注2) 農業研究開発投資の将来シナリオ

品種改良や新しい栽培方法の開発を目的として各国の公的機関が農業分野に投じる費用の将来予測値のこと。

注3) 収量モデル

作物の生理・生態的な生育過程を数式で表現したコンピュータ・シミュレーション・モデル。気象や土壌，栽培管理についての入力データに基づいて，日々の葉や茎の伸長，収量の形成を計算します。

注4) 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の最新の気候変動予測

2021年8月に政策決定者向け要約が公表されたIPCCによる第6次評価報告書の第1次作業部会報告書（自然科学的根拠）で使用された気候変動予測のこと。

注5) 社会経済シナリオ

共通社会経済経路（SSP）と呼ばれ，IPCCの第6次評価報告書で使われている国内総生産や人口，技術革新の速度などについての将来シナリオ。本研究では，SSPシナリオ1～5それぞれについて対応する窒素肥料の投入量の増加や改良品種の導入率の増加を想定しました。

（研究に関するお問い合わせ先）

福島大学 共生システム理工学類

准教授 吉田 龍平

電話：024-503-3279

メール：yoshida@sss.fukushima-u.ac.jp

農研機構 農業環境研究部門

上級研究員 飯泉 仁之直

（広報に関するお問い合わせ先）

福島大学 総務課広報係

電話：024-548-5190

メール：kouho@adb.fukushima-u.ac.jp

農研機構 農業環境研究部門

研究推進室（兼本部広報部） 杉山 恵

電話：029-838-8191, 029-838-6979

メール：niaes_kouhou@ml.affrc.go.jp

気候緩和は発展途上国における 農業研究開発投資に対するトウモロコシ収量増を維持

よしだ りゅうへい

吉田 龍平(福島大学 共生システム理工学類)

いいずみ としちか

飯泉 仁之直(農研機構 農業環境研究部門)

1. 本発表のポイント

- 【背景】

- 人口増 → 食料需要増 → 食料増産が必要
- 農業研究開発(R&D)投資による収量増は昇温で鈍化

- 【目的】

- 農業R&D投資 → トウモロコシ収量増の気候変動影響を推定

- 【結果と意義】

- 低所得国は既存の増収技術の導入により収量増の余地が大きい
- 気候変動が著しい場合、収量の伸びが鈍化する
- 収量増による食料増産の継続には気候緩和が不可欠

2. 背景：気候変動下の農業R&D投資→収量増は？

- 増加を続ける世界人口

- 現在：80億
- 今世紀半ば：97億
 - 国連中位予測値

- 高まる食料需要

- 1979-2018年の生産量増125%：
収量の寄与は73% (図1)
- 収量増には**農業研究開発 (R&D) 投資**が寄与

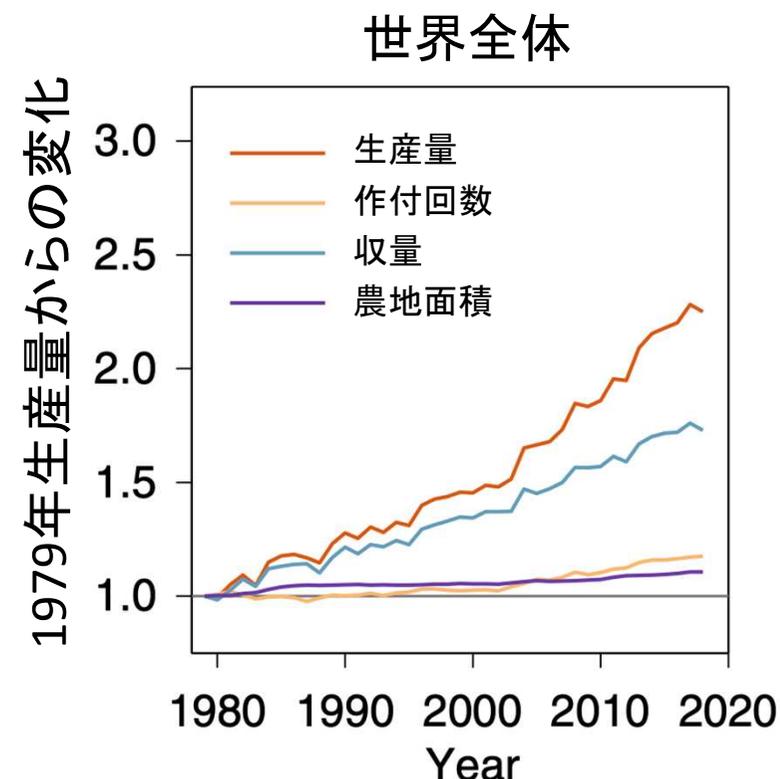


図1. 生産量増とその要因 (Zhu et al. 2022を改変).

2. 背景：気候変動下の農業R&D投資→収量増は？

- これまでの昇温は農業生産性（収量）の向上を抑制
– Ortiz-Bobea et al. (2021, 図2)

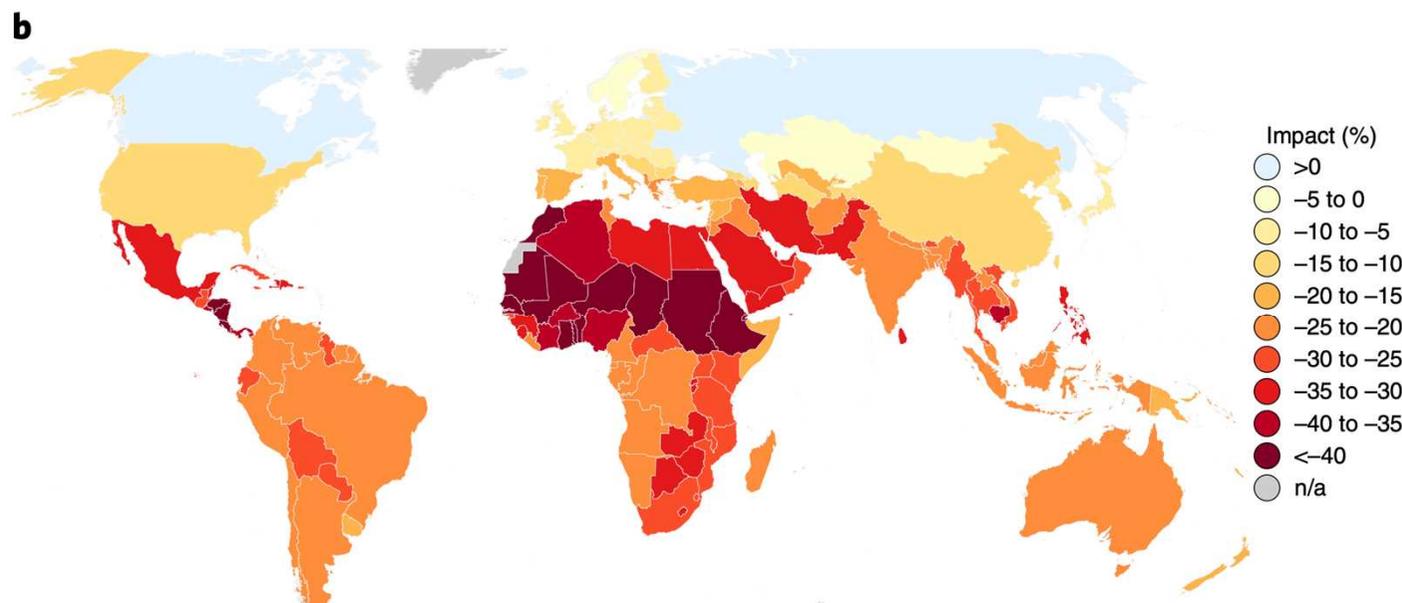


図2. 人為起源の気候変動（期間：1961–2015年）で伸びが鈍化したと推定される農業生産性の分布（Ortiz-Bobea et al. 2021を改変）。

- 目的：「農業R&D投資→収量増」への気候変動影響は？

3-1. 方法：作物モデルCYGMAによるシミュレーション

- **入力1：最新の気候変動予測（CMIP6）**

- 1. 今世紀半ばの昇温**+1.7°C**， 2. 同**+2.4°C**

世界の年平均気温の上昇は今世紀半ば2041–2060年の平均（対：工業化以前1850-1900年の平均）を表す。

- **入力2：社会経済シナリオ → 農業R&D投資額**

- **SSP1（持続可能）**， **SSP2（中道）**， **SSP3（地域対立）**
- **SSP4（格差）**， **SSP5（化石燃料依存）**

- **解析対象：トウモロコシ**

- アフリカ地域等における主食穀物の一つ
- 主要穀物の中でも気候変動の悪影響を強く受ける
とされている

3-2. 方法：生産量10万トン超の71カ国を解析

• 世界銀行による4つの所得水準区分

- 高所得国：国民総所得 12,345ドルより高い
- 高位中所得国：4,036－12,345ドル
- 低位中所得国：1,036－4,045ドル，低所得国：1,036ドル未満

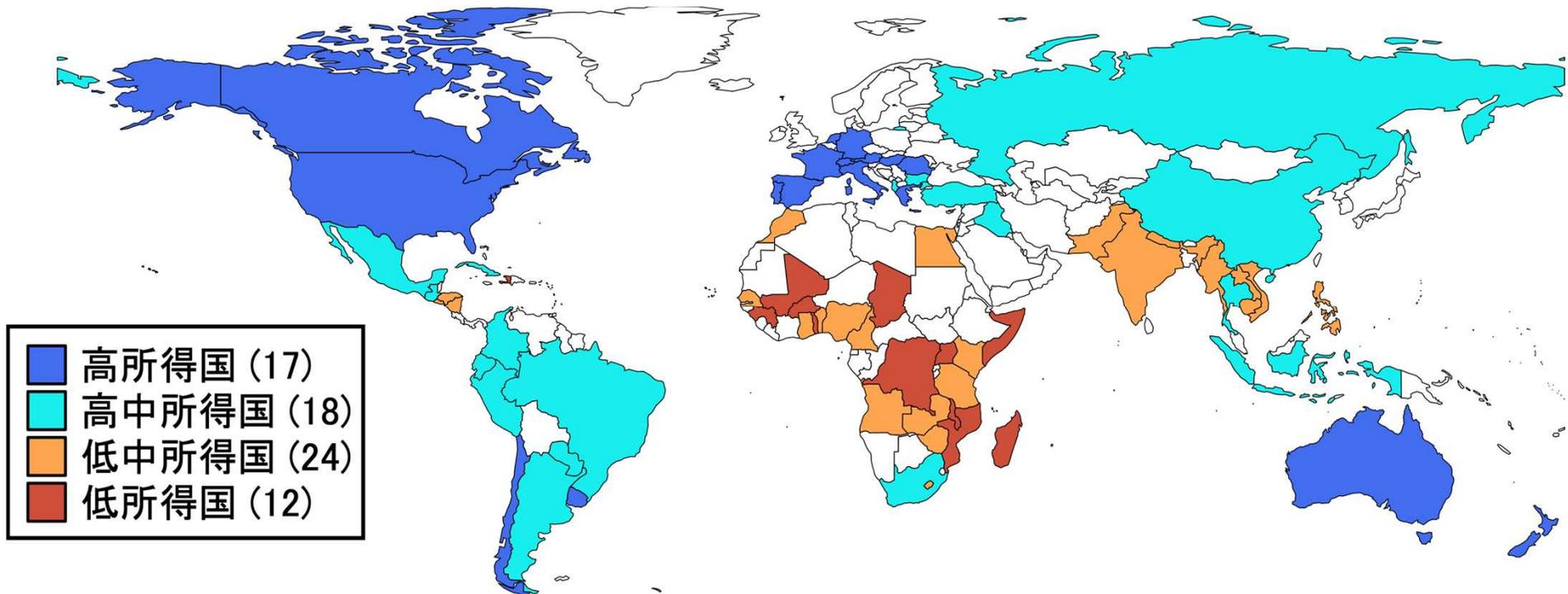


図3. 解析対象国. 括弧内の数値は国の数.

4. +1.7°Cシナリオ：農業R&D投資→収量増が継続

・ 所得水準が低い国ほど顕著

－ 高所得国の農業技術が普及する余地が大きいいため

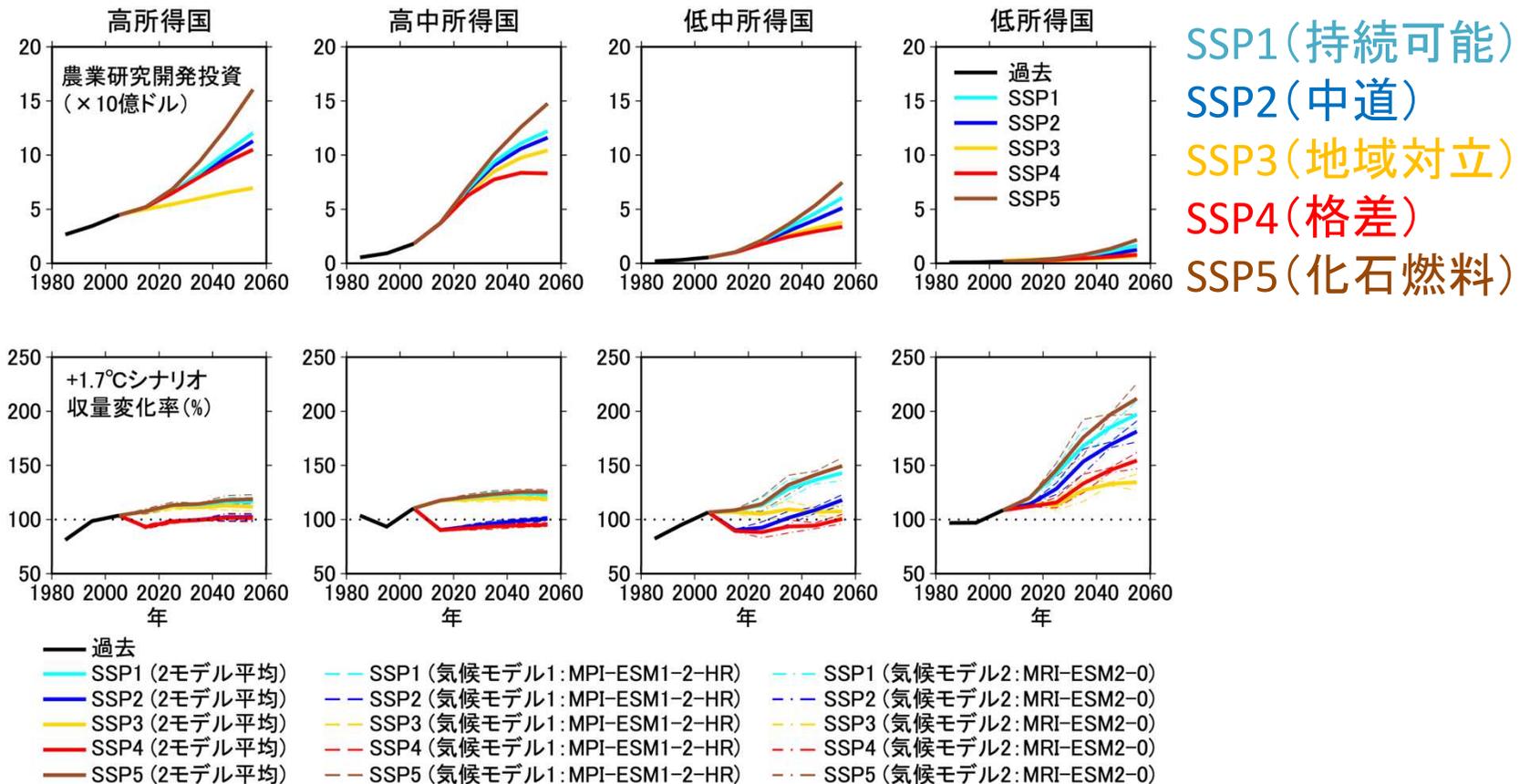


図4. (上) 農業R&D投資額, (下) +1.7°Cシナリオ下の収量変化率. 色は使用した社会経済シナリオ, 線種は気候予測モデルを表す.

5. +2.4 °Cシナリオ: 今世紀半ばで伸びは頭打ち

- 所得水準が低い国ほど抑制が強い
 - 気候変動の影響を強く受ける

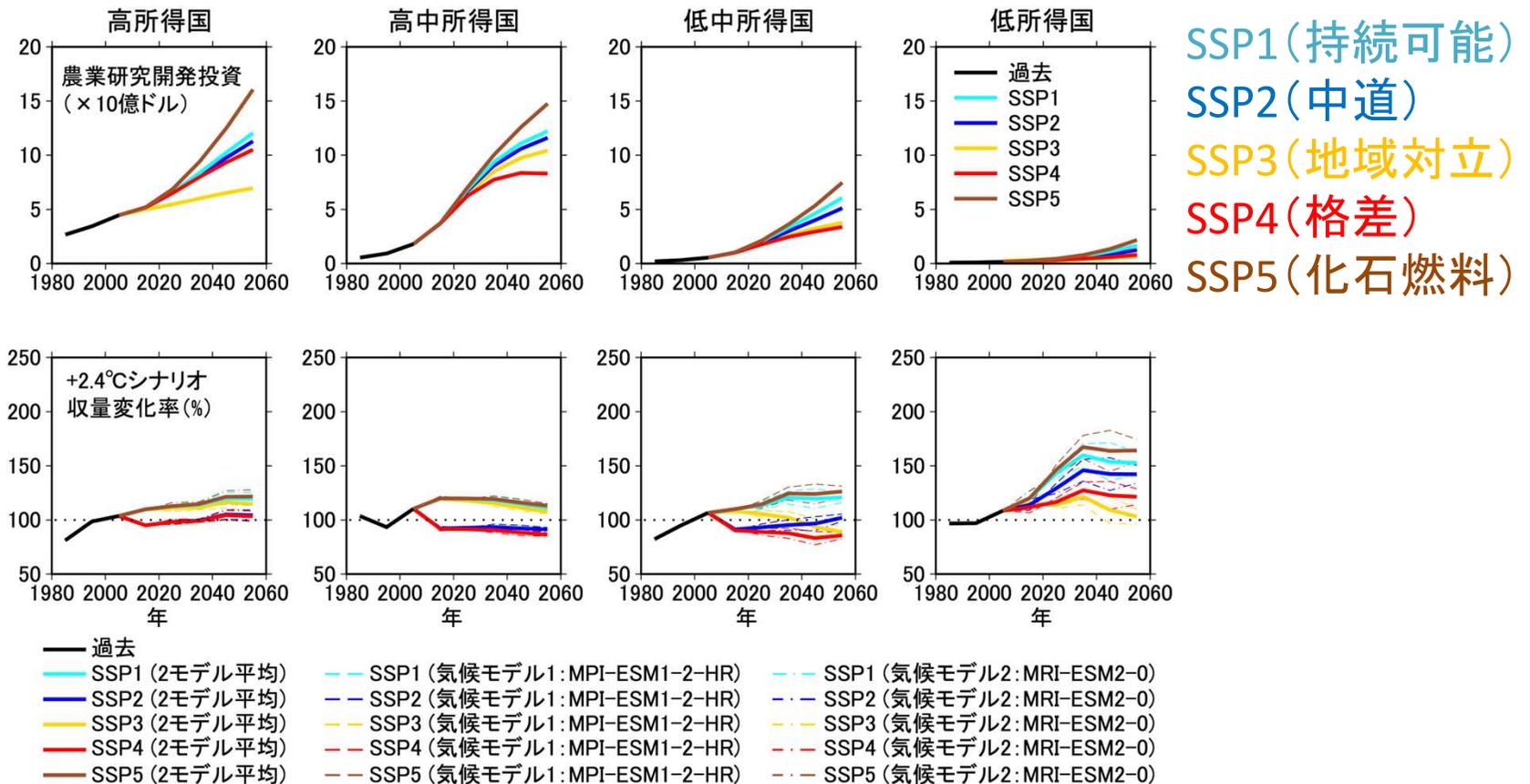


図5. (上) 農業R&D投資額, (下) +2.4 °Cシナリオ下の収量変化率. 色は使用した社会経済シナリオ, 線種は気候予測モデルを表す.

6. 農業R&D投資10億ドルあたりの収量増加率を推定

• 国ごとに算出し所得水準で集計

- 参考: 農業R&D投資10億ドルは2005年の値に対して以下に相当する
 - 16.6%(高), 15.8%(高中), 156.6%(低中), 552.4%(低)

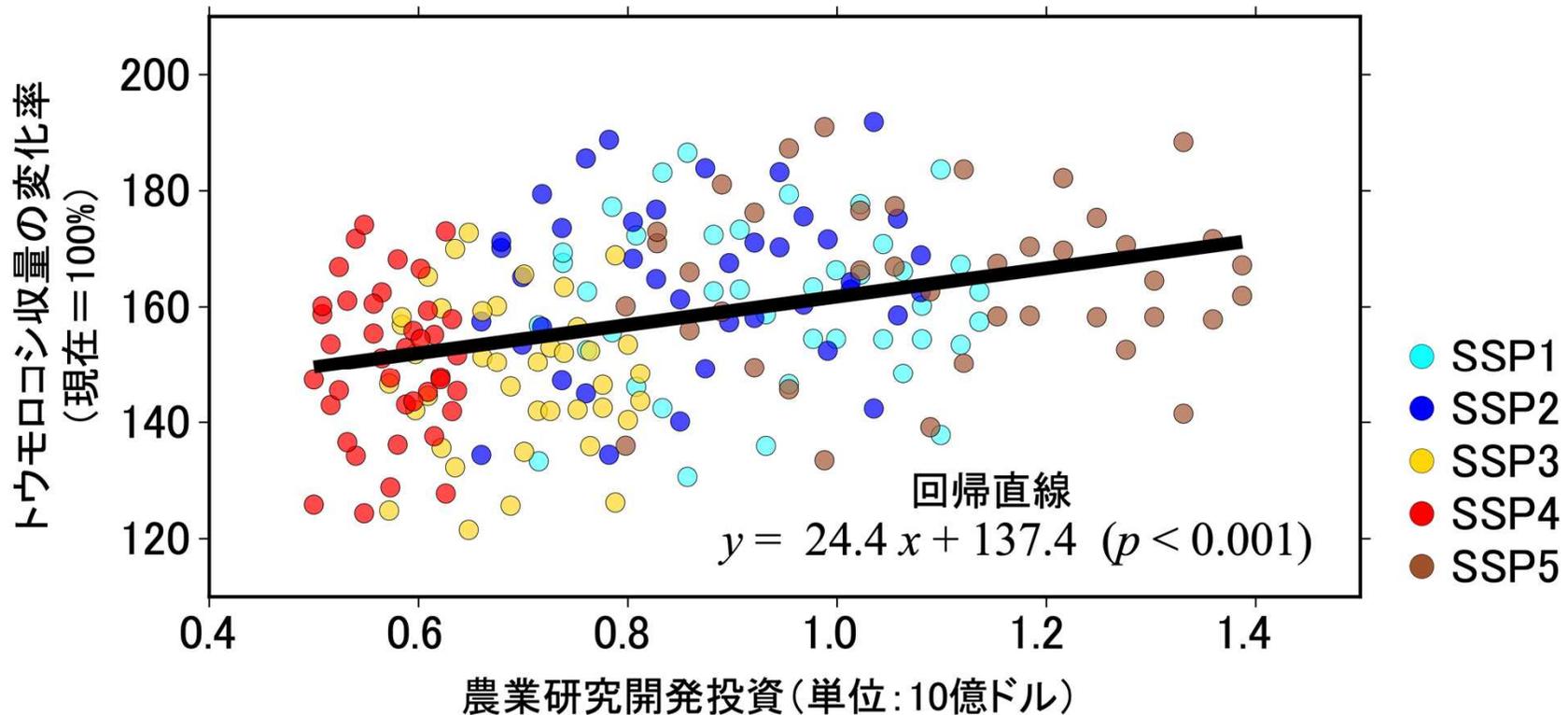


図6. 農業R&D投資10億ドルに対する収量増加率の推定(コロンビア).
この場合, 収量増加率は24.4%. +1.7°Cシナリオの例.

7. 所得水準ごとに農業R&D投資→収量増を集計

- 高→中→低所得国の順で増加率が高まる
 - 昇温シナリオ間(+2.4, +1.7 °C)で傾向は共通

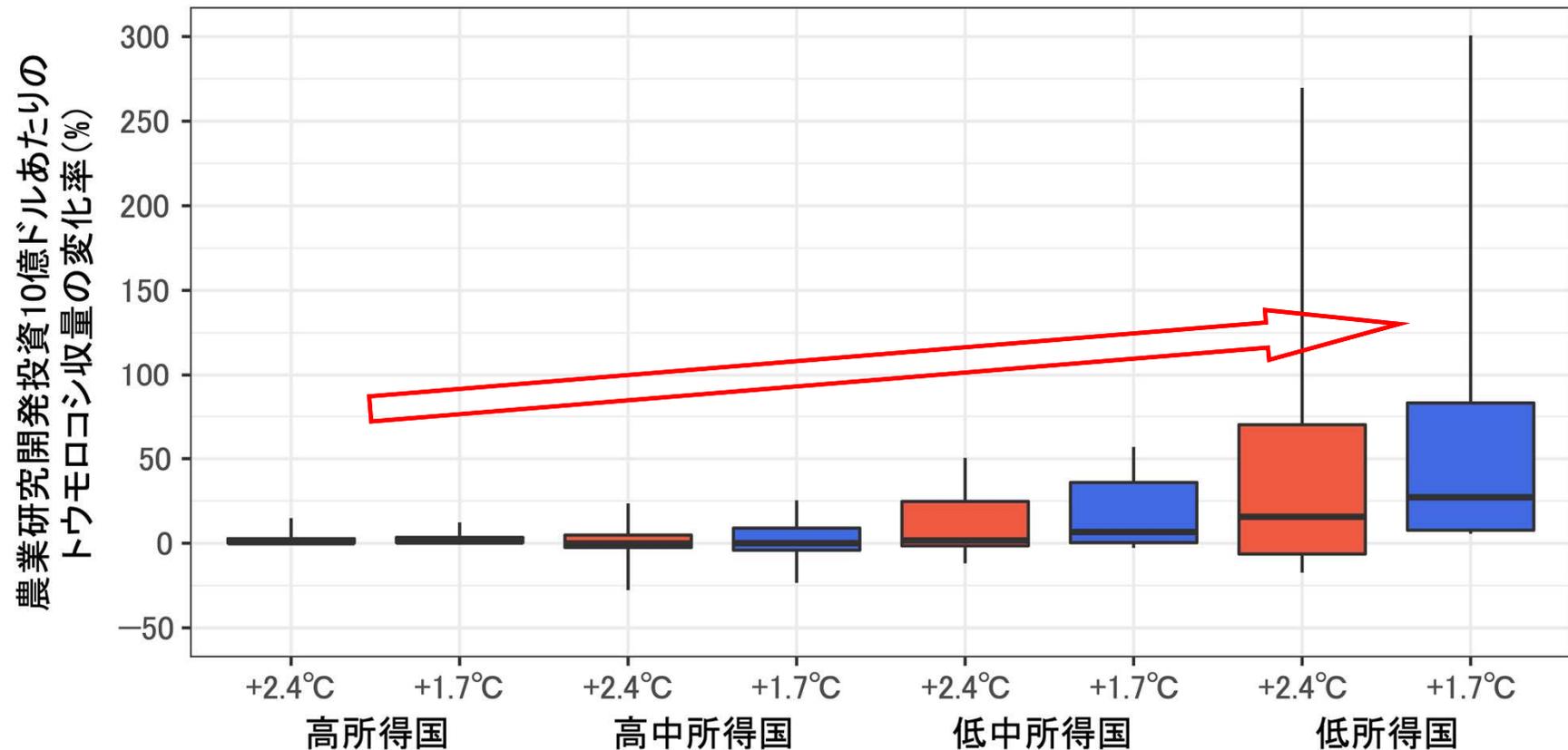


図7. 農業R&D投資10億ドルあたりのトウモロコシ収量の変化率 (対:現在の平均収量). 箱ひげは上位10, 25, 50, 75, 90%の値.

8. 低所得国：気候変動の影響が顕著

- 低所得国：気候変動が著しい場合に大きく低下
－ 変化率：27.2% (+1.7 °C) → 15.6% (+2.4 °C)

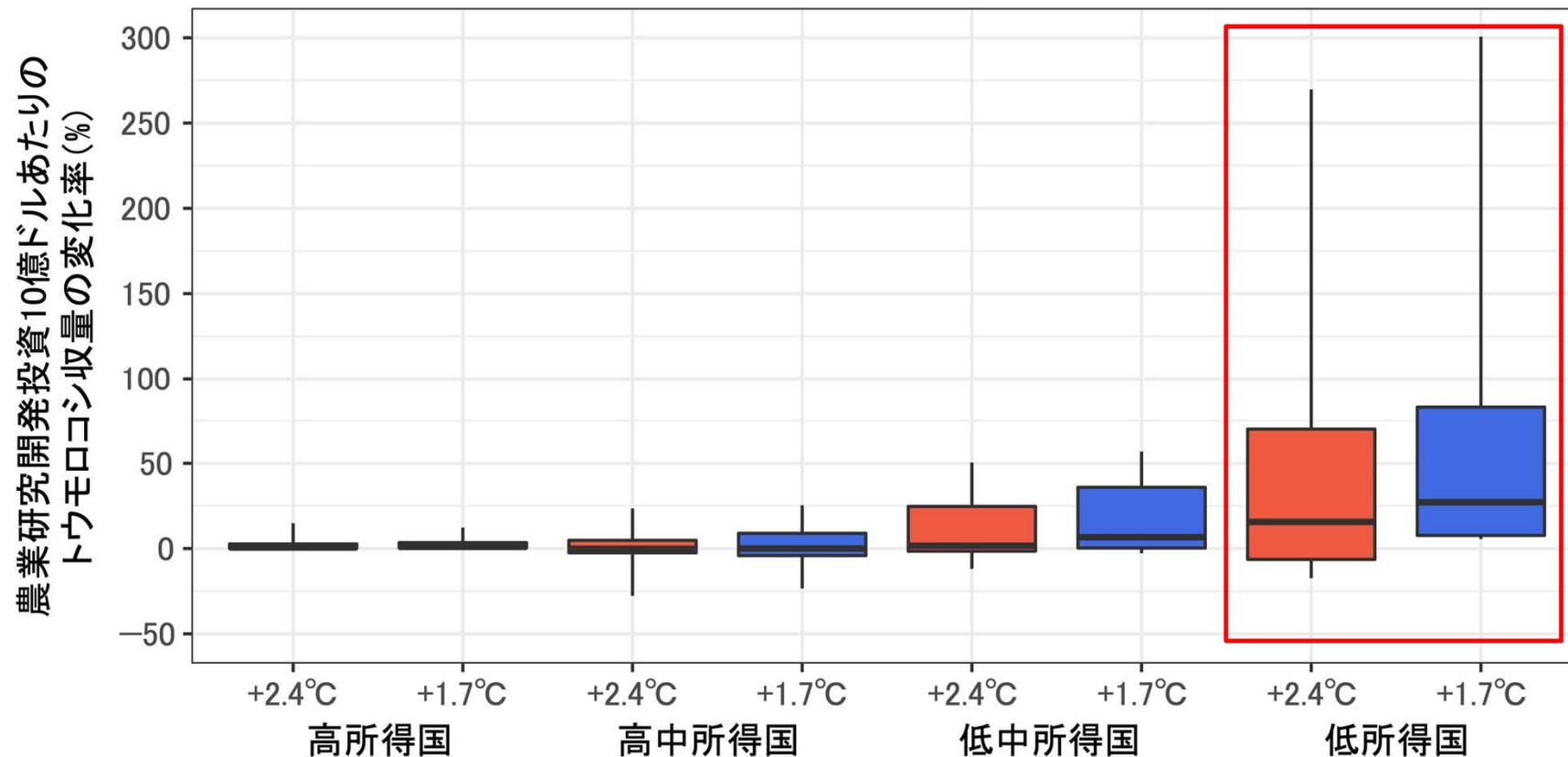


図7. 農業R&D投資10億ドルあたりのトウモロコシ収量の変化率
(対：現在の平均収量). 箱ひげは上位10, 25, 50, 75, 90%の値.

9. 意義と課題

- **農業R&D投資 → トウモロコシ収量増を推定**
 - **低所得国**では大きな収量増が期待
 - 既存の増収技術の普及による
 - 高所得国などの技術支援の役割大
 - **気候変動が著しい場合、収量増は半減する可能性**
 - 注：既に高い収量を達成している高所得国の収量を伸ばす超高収技術は本研究では考慮していない
- **気候変動の緩和**（温室効果ガスの排出削減等）**が不可欠**
 - 低所得国では人口の増加大 → 食料需要拡大