

食料システムの未来は、気候ではなく技術で決まる

だからこそ、研究開発投資がかつてなく急務なのだ

パトリック・T・ブラウン（ブレークスルー研究所）

2023.9.27

監訳：キャノングローバル戦略研究所 研究主幹 杉山大志 / 訳：木村史子

本稿は Patrick T. Brown 「[Technology, Not Climate, Will Determine the Future of our Food System That's why R&D funding is more urgent than ever](#)」を許可を得て邦訳したものである。

1968年、アメリカの科学者ポール・エーリッヒとアン・エーリッヒの夫妻は『The Population Bomb（人口爆弾）』を出版した。その中でエーリッヒ夫妻は、世界の人口、特に南アジアとサハラ以南のアフリカの低所得国の人口が、世界の農業生産の「限界」を超えて増加し、死と絶望が蔓延すると予見した。

エーリッヒ夫妻は間違っていた。人口は20世紀後半も増え続けたが、農業生産高も増加した。そして、1970年以降、地球の気温は摂氏1度以上上昇した。おそらくエーリッヒ夫妻であれば飢饉はさらに悪化すると言ったことであろう。しかしながら、この半世紀は人類史上最も食糧が十分に確保された時代であった。

ポール・エーリッヒが1968年に言ったことは間違っていた。にもかかわらず、環境保護論者、人口抑制論者、そして人類が自給自足し続けることが不可能になる、という不吉なことを予測する終焉論者にとって、彼は影響力のある発言者であり続けている。2018年、『人口爆弾』50周年に際して、エーリッヒは彼の生涯をかけた論文を、今度は気候変

動を加えて再論し、学術誌『[Sustainability](#)』で「人口過剰」が将来の飢餓を引き起こす恐れがあると主張した。

エーリッヒが世界的な農業生産の限界に対する解決策として人口抑制に焦点を当てたことは、もはや流行遅れとなった。だが、最も主張の激しい気候変動問題の活動家たちは、いまだに将来の気候変動による飢餓の到来を警告したがる。エーリッヒのように、これらの活動家は、気温上昇、干ばつ、異常気象による農業収穫量の減少を示す気候変動モデルを、彼らの主張の証拠として提示している。しかし、これらの主張は重要な点を見逃している。これはエーリッヒが認識できなかったのと同じ点である。それは差し迫った災害を指摘するほとんどの主要な研究が見過ごしている点でもある。

気候変動は、気候変動のない世界と比べて農業生産性を低下させることはあり得るが、技術進歩によって気候変動の影響を完璧に無くすことが出来ないと信じる理由はない。

気候変動が飢餓をもたらすというシナリオを手放すことは、多くの気候変動活動家、そして一部の科学者やモデラーにとって危険なことに思えるかもしれない。それがなければ、政府、企業、個人に対する気候変動への適切な対応への圧力が弱まるように思えるかもしれない。しかし、気候変動に対して行動を起こすべき現実的かつ正当な理由がすでに数多く存在する今、こうした誤った理由は、気候変動への適切な対応を動機づけるためには無用である。

気候変動の緩和や適応という優先順位の低い分野へ投資や注目を集める危険性も同様にある。その犠牲になるのは、気候変動、地政学、社会経済など、食料危機をもたらす多くの要因についての、より差し迫った、より科学的に正しい課題である。

政策を正しく行うには、気候の緩和と適応に関する課題とニーズを明確にする必要がある。

農業の場合、それは、生産性が遅れている地域において、新しく実績のある技術や農法を開発・導入し、世界的に農業生産性を向上させることに投資し、それを優先させること

を意味する。農業が気候に与える影響を緩和することは重要である。というのも食料の生産と消費は、世界の CO2 排出量のおよそ [4分の1から3分の1](#) を占めているからだ。しかし、農業生産性の成長を継続させ、社会が間違った農業衰退の千年王国モデルに屈しないようにすることもまた、重要なことである。

気候変動が収穫量に与える影響

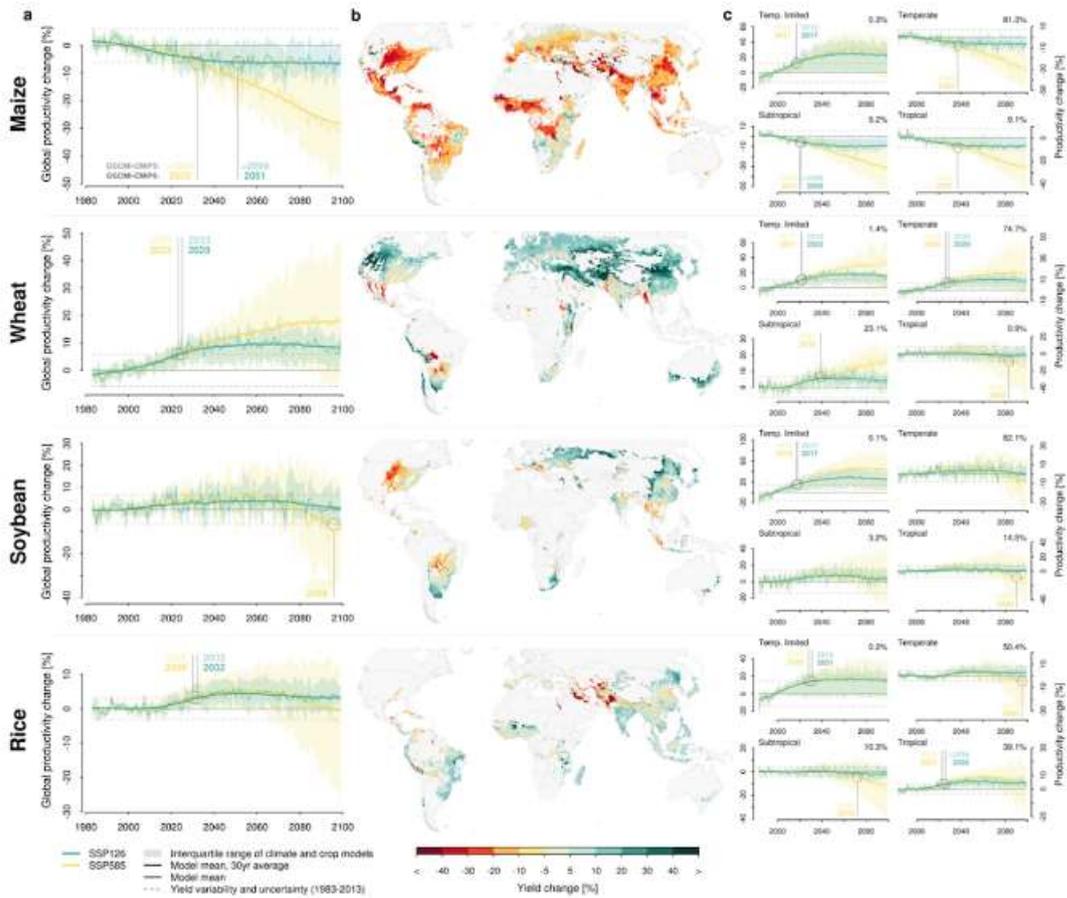
気候変動が農業に及ぼす影響については、過去数十年の間に数百の研究と数千のシミュレーションが発表されている。これらの研究において、データセット、手法、モデル、予測変数、対象変数は非常に多岐にわたっている。最も一般的な研究手法は、生育期の気温と降水量を測定し、トウモロコシ、コメ、大豆、小麦などの主食作物の収量（エーカー当たりトンなど）との関係を調べるものである。

環境条件が収量に及ぼす影響を理解する上で大きな問題となるのは、こうした環境条件の長期的変化によって引き起こされる変動が、技術的・社会経済的要因によって引き起こされる変動に打ち消されてしまうことである。したがって、気候変動が農業生産性に及ぼす影響を定量化しようとする研究は、より大きな影響を及ぼすであろう他の多くの交絡要因との関連性を明らかにしなければならない。

こうした課題に対処するために、さまざまな研究がさまざまなアプローチをとっているが、その結果も千差万別である。1974 年から 2008 年までの作物収量を調査したある大規模な [世界的研究](#) では、気候変動に対する収量の反応は場所や作物によって大きく異なることが示されたが、気候変動のない仮想世界と比較した場合、10 種類の主要作物で消費可能な食料カロリーが世界全体で正味 1% 減少した、とされた。

しかし、[最近行われた別の主要な研究](#) によると、温暖化と CO2 排出量の増加により、世界の小麦、米、そしておそらく大豆も収量は増加し、トウモロコシの収量は減少することが示された（図 1 参照）。

図 1：20 世紀における世界の作物生産性の予測



注：a, トウモロコシ、小麦、ダイズ、コメの生産性の時系列は、SSP126（緑）と SSP585（黄）の下での 1983~2013 年の基準期間に対する相対的な変化として示されている。網掛け範囲は、全ての気候-作物モデルの組み合わせ（5 GCM×12 GGCM）の IQR を示す。実線は中央値（および 25 年間の移動平均値）。横の破線は、過去の収量の変動とモデルの不確実性（つまり、個々の気候-作物モデルの組み合わせによる「ノイズ」）の標準偏差を示し、円は、気候変動の影響が現れる時期（TCIE、平滑化された気候変動の応答がノイズから発現する年）を示す。b, 現在の栽培地域（10 ha 以上）について、SSP585 の下でのトウモロコシ、コムギ、ダイズ、イネの収量変化の中央値（2069-2099）を気候-作物モデル間で示した地図。ハッチングは、気候-作物モデルの組み合わせのうち、影響の符号が 70%未満しか一致していない地域を示す。c, 4つの主要なケッペン・ガイガー気候帯（温度制限、温帯・湿潤、亜熱帯、熱帯）で層別した地域生産性の時系列。各ゾーンが世界の総生産量に占める割合は、挿入図の右上に示されている。CO2 施肥効果を含む。[Jägermeyr, J., Müller, C., Ruane, A.C. et al., 2021](#) より。図 S3.

しかしながらほとんどの研究においては、世界レベルで見れば気候や CO2 の変化は収量に悪影響を及ぼす、とする傾向が見られる。[IPCC](#) がまとめた ([メタアナリシス](#)) によれば、1960 年以降、気候変動と CO2 変動は、1960 年以降気候変動のなかった仮想世界と比較して、小麦の収量を 4.9%、トウモロコシを 5.9%、コメを 4.2%減少させている、と報告されている。

しかし、このような影響の推定値ですら、背景にある収量の大幅な伸びという観点から見れば、小さく見える (図 2 参照)。

図 2：背景にある作物収量の伸びと気候変動が作物収量に与える影響 (1961～2020 年)

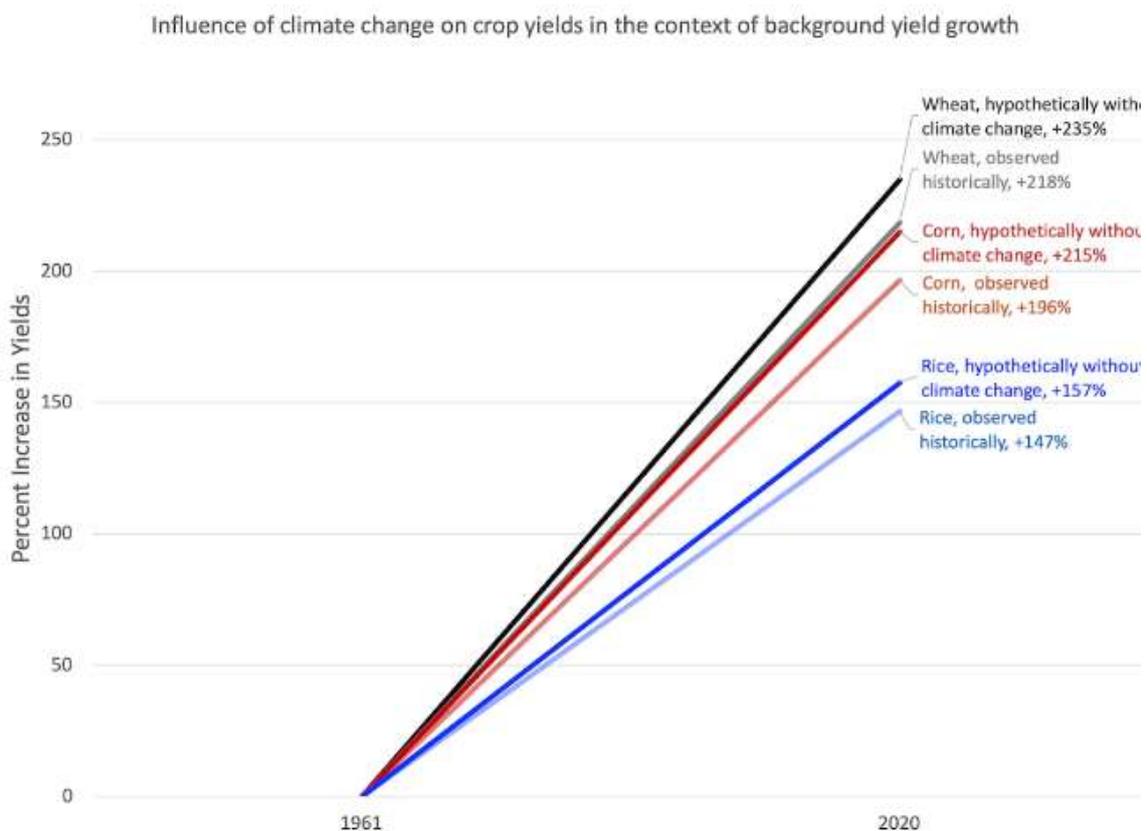


図 収量の向上という文脈における気候変動の作物収量への影響

注：[ブレイクスルー・インスティテュート](#)の分析による。

気候変動に適応した農業生産性の向上

過去約半世紀の間に、世界は摂氏 1 度ほど温暖化したが、世界の農業生産高はほぼ 4 倍に増加した。世界の全要素生産性（全般的な効率の指標。すなわち農業生産高を肥料などの総投入で割ったもの）は、同期間に 79% 増加した。また、世界の農業用地は、1970 年の 17 億ヘクタール強から現在の 22 億ヘクタール弱へと 25% 増加した一方で、技術進歩による収量の増加がなければ、[さらに 31 億ヘクタール](#)の土地が農地に転換されていた可能性がある。言い換えれば、気候変動のない架空の世界と比較してわずかに収量が減少したとしても、この間の収量増加によって、世界の耕作可能な土地面積の 4 分の 1 弱が農地拡大から免れたことになる。

さらなる農地拡大を防いだ生産性の向上は、主に 1961 年以降の農業収量の劇的な増加によるものである。例えば、世界のトウモロコシ収量は 196%、小麦収量は 218%、米収量は 147% 増加した（図 2 参照）。

生産性の向上は土地を救うだけでなく、人々を救ったといえる。世界の農業生産量の増加は、食糧不安の減少をもたらすからだ。世界の [1 人当たりのカロリー利用可能量](#)（食料供給総量の尺度）は、1970 年の 1 日当たり 2357kcal から、2020 年には 2947kcal へと、25% 増加している。FAO によれば、1970 年以降、低所得国における [飢餓の蔓延](#) はほぼ 3 分の 2 に減っている。すなわち、1970 年には世界人口の 34% が飢餓に直面していたのに対し、2015 年には 13% に減少しているのである。1870 年から 1970 年代まで、[飢饉](#) による死者は毎年約 90 万人だったが、1980 年代以降、飢饉による死者は毎年平均約 7 万 5 千人へと減った。

過去半世紀にわたる地球気温の上昇は、農業生産性の低下を引き起こしたが、その間の生産性の純増は莫大なものだった。地球温暖化の有害な影響が、技術的・社会経済的進歩によって完全に打ち消されたという事実は、今後の予測を立てる作業を窮地に陥れる。最も簡単でクリーンな研究デザインは、気候変動以外の多因子による収量への影響を一定に保つものである。この利点は、研究者が、その時点のベストプラクティスの利用に影響を与える不透明な社会経済的力学について推測したり、将来の技術進歩を予測しようとしたりする必要がないことである。

しかし、技術的・社会経済的な力が突然農業の収量に影響を与えなくなるとか、飢餓に関わる他の多くの要因（たとえば地政学や経済的相互依存関係）が重要でなくなるなどと信じるような理由は何も無い。

国連食糧農業機関の「[食糧と農業の未来 \(FOFA\)](#)」分析のような研究は、こうした多因子的な影響を説明しようと試みてきた。FOFA は、気候変動を農業変革の 18 の「重要な推進要因」の 1 つとしてとらえ、将来の食糧システムのシナリオを評価している。国連食糧農業機関 (FAO) は、これらの要因を考慮した上で、2050 年までに世界の農業生産が通常通り 50% 増加すると予測している。

それなら問題は解決したと考えたくなる人もいるかもしれない。しかし、農業の生産性と収量の伸びの歴史的な要因を見てみると、いくつかの本質的な課題があることがわかる。

過去半世紀の[伸び](#)は、主に米国、西欧、南米の一部、東アジア、南アジアなどにおける大規模な生産性向上によるものであった。アフリカや中央アジアなど、比較的生産性の低い農業地域では、農業の収量と生産性は増加したものの、成長率は伸び悩み、出発点も低かった。

例えば、北米の農業の全要素生産性が 1970 年から 2020 年の間に約 2 倍になったのに対し、サハラ以南のアフリカの農業生産性は約 16% の増加しかなかった。米国農務省 (USDA) のデータによれば、この数字は 2015 年以降わずかに低下している。

同様に、世界の 1 人当たり平均カロリー利用可能量は、1970 年の北米の食糧供給量に匹敵するまでに増加したが、今日のアフリカの 1 人当たりカロリー利用可能量は、約 2500kcal と、1970 年の世界平均によく近づいているレベルなのが現状である。また、より広範に測定される世界の飢餓は 1970 年以降急激に減少してはいるが、農業生産性の低い地域では、食糧不安と栄養不良は依然として重大な問題である。2022 年に国連世

世界食糧計画（WFP）が発表した報告書では、19の「飢餓のホットスポット」が挙げられているが、そのすべてが現在紛争中の地域か、農業生産性が比較的停滞している地域である。

20世紀の農業に追いつくために：機械化、灌漑整備、適正施肥

米国だけでなく、他の多くの高所得国でも、20世紀半ばの数十年間は世界最高水準の生産性の伸びを記録した。トラクターや刈り取り機など、機械による省力化が進んだことで、農作業に必要な労働力は大幅に削減され、生産量は増加した。また、第二次世界大戦直後の数十年間は、肥料や農薬といった新しい化学物質の使用により農作物の収量が飛躍的に増加した。そして、農地の大規模な統合が進み、農地の専門化が進んだことで、農業の様相が一変し、生産高が増加し、農家がスケールメリットを活かせるようになった。

同時に、1970年以前に高所得国で起こった広範な社会的、技術的、経済的变化、すなわち、電化、高速道路や鉄道などの大規模なインフラ建設、大型の治水事業などは、農業生産性の伸びに大きなメリットをもたらした。

米国などの高所得国以外の国々においては、農業生産性は過去半世紀の間にさまざまな道筋をたどってきた。たとえばインドでは、化学合成肥料やハイブリッド作物などの「緑の革命」技術によって作物の収量が飛躍的に向上したが、インド農業が均質化したことや、農業労働者が他に有為な雇用の選択肢がないまま農地を離れることを余儀なくされたとして批判を浴びてもいる。ロシアやウクライナのような旧ソ連の国々は、肥沃な土壌と大規模な機械化を利用し、特に穀物生産において、1エーカーあたりの肥料使用量を大幅に増やすことなく収量を増やしてきた。

多くの低所得国においては、農業生産性の伸びは、技術設備や新しいプロセスを、不揃いな形で導入することでもたらされた。例えば、サハラ以南のアフリカでは、多くの農場で灌漑が行われず、機械化された設備も使用されず、ごく少量の化学物質しか投入されていない。同時に、低所得国では農地の所有権が比較的分散しており、零細農家が農地の主要な利用者であり続けている。このことは、農業の資本集約度を抑えるとともに、農場を

あまり特化させないことを意味しており、多くの零細農家は自給自足と地元での取引のために食料を生産しているのである。

灌漑は、降雨量の少ない国でも栽培の拡大を可能にし、農家が乾燥した年に降雨による水を灌漑により補うことで、干ばつストレスによる作物の損失を軽減または回避することができる。灌漑農業の生産性は、平均して[天水農業の2倍](#)であり、灌漑は多くの国で作物収量を増加させる重要な[原動力](#)となっている。このような利点があるにもかかわらず、灌漑農業は世界の耕作地のわずか20%しか占めておらず、分布も偏っている。例えば、サハラ以南のアフリカでは、耕地に占める灌漑地の割合が4%と最も低く、ラテンアメリカでは14%、アジアでは37%の灌漑地がある。

灌漑は農業生産性を向上させるが、同時に水不足の原因にもなる。しかし、ドリップラインのような高効率の標的型灌漑技術は、非効率な散布による水の浪費を劇的に減らすことができる。同時に、漏水による水の浪費を減らすためには、既存の灌漑システムの定期的なメンテナンスが必要である。世界全体では、農業が淡水取水量の[70%](#)を占めており、節水型灌漑技術は、中東や北アフリカ、南アジアなど、水不足が[深刻な](#)地域で特に重要であると言える。

しかし、灌漑は多くの場合、個々の農家が選択できるレベルのものではない。低所得国全体で灌漑面積を増やすために必要なインフラを整備するには政府の介入が必要であり、ダム建設などの水に関する事業や水の利用について、政治的・社会的な緊張を生む危険性がある。

より広く言えば、低所得国の農家が現代農業の生産性を高めている多くの既存技術や慣行を導入するには、政府の介入、柔軟な資金調達、適切なインセンティブが必要となる。例えば、米国などではほとんどすべての農場が機械化されているが、低所得国ではトラクターなどの省力化・生産性向上のための機械設備が十分に活用されていない。1900年には、米国の農家は[2,160万頭の役畜](#)を利用していたが、1960年（米国国勢調査が役畜のデータを収集した最後の年）には、米国の農家が利用していた役畜はわずか300万頭で、代

わりに 470 万台のトラクターが利用されていた。今日では、機械化された設備を使用していない農場は、アメリカではほとんどない。

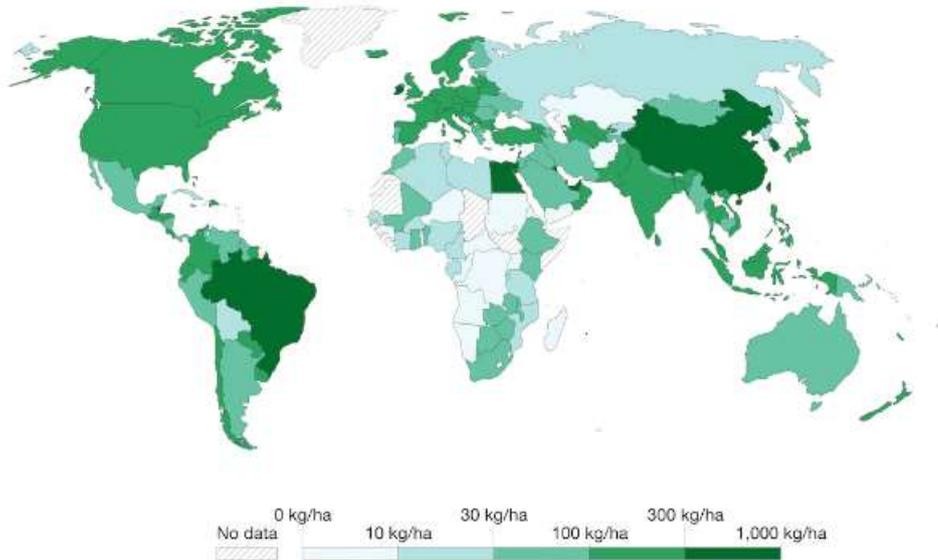
それに比べ、低所得国の零細農家がトラクターなどの機械設備を使用する割合ははるかに低く、代わりに人間や役畜の労働力に頼っている。[2012 年](#)には、ケニアの農家のわずか 2%がトラクターを使用しており、1992 年の 5%から減少している。同じ期間でケニアの農家における牛の使用は 17%から 32%になんと増加した。同様に、2010 年から 2012 年の雨季にトラクターを使用したナイジェリアの農家は、わずか [4%](#)に留まった。農業労働者を農業経済から切り離すことの社会的影響も考慮しなければならないには違いないが、労働力を削減し、農作業の適時性を向上させることによって生産性と収量を増加させるには、機械設備の導入を増やすことが極めて重要である。

また、同様に、化学物質投入に関しても、生産性を向上させる技術や慣行は不揃いに分布している。高所得国の農業生産者は、低所得国の生産者よりも窒素肥料やその他の肥料をかなり多く使用する傾向がある（図 3）。例えば、アメリカの農家が 2020 年に 1 ヘクタール当たり平均 [124kg](#) の肥料を使用したのに対し、ザンビアを除くサハラ以南のアフリカ諸国では、その半分以下しか使用していない。コンゴ民主共和国、コンゴ、ニジェール、マリといった国々は、2020 年に 1 ヘクタール当たり 10kg 未満の肥料しか使用していない。

図 3：農地 1 ヘクタール当たりの肥料使用量（2020 年）

Fertilizer use per hectare of cropland, 2020

Application of all fertilizer products (including nitrogenous, potash, and phosphate fertilizers), measured in kilograms of total nutrient per hectare of cropland.



Source: Food and Agriculture Organization of the United Nations

OurWorldInData.org/fertilizers • CC BY

出典：FAOStat, 原典は [Our World in Data](#)。

サハラ以南のアフリカにおいても、肥料の使用量を増やす取り組みが収量向上に一定の効果を上げているが、肥料代が高いため断片的なものにとどまっている。ナイジェリアでは、肥料補助金プログラムにより、参加農家の収量が2010年から2013年の間に **38%**増加したが、ナイジェリアの農業予算の26%を占めるほどの大きなコストがかかった。2005年から2009年にかけてマラウイで実施された **同様のプログラム** では、生産者の収量が平均42%増加したが、政府予算全体の約16%が費やされた。

機械化や肥料の使用、また近代的な農薬のように、地理的に不揃いなまま残っている無数の農業技術や農法の場合、低所得国での採用を増やすことは、単純なことではなく、必ずしも結果が伴うものでもない。農業の機械化は労働力の必要性を減らし、一部の農業労働者は農業経済から事実上切り離される。肥料の使用についても、同じ結果をもたらす可能性があることに加えて、肥料が無差別に、あるいは不合理に使用されれば、生態系に大きな害をもたらす可能性がある。大雑把に言えば、あるコンテキストから他のコンテキストへ技術や慣行をただ移転するだけでは、その地域のコンテキストを見逃してしまう危険

性がある。米国をはじめとする生産性の高い農業地域は、農業における収量と全体的な生産性を向上させるためのさまざまな道筋の好例となりうるが、それと比較することが、技術導入と農業の進化に関する正確なロードマップを提供するものではないし、また提供すべきものでもない。

実際、米国は農業の工業化を行わない場合の例も示している。栄養塩の流出、農村コミュニティの疎外、農業投入資材や加工産業の独占化は、米国が高生産性システムのために支払った代償である。理想的には、このようなトレードオフを認識することで、現在米国の農業生産を規定しているようなネガティブなトレードオフをすべて排除する形で、米国の高収量を可能にした技術的突破口を参考にして、ほかの国でも農業生産性の向上の恩恵を受けることができるようになるはずである。

バイオテクノロジーとバイオ革命

生産性の向上と世界的な農業収量の増加の中心的な道筋は、作物の遺伝的改良である。しかし、農業バイオテクノロジーほど批判を浴びている技術は他にない。遺伝子組み換え作物や遺伝子編集作物を用いて世界的に収量を向上させるには、まず信頼を築き、生産者や消費者の賛同を得、懲罰的な知的所有権法を乗り越えることが必要である。そしてなお、農作物の遺伝子改良を促進するバイオテクノロジーの必要性は極めて切実である。

米国では、トウモロコシ、大豆、小麦における過去の生産性向上のおよそ半分を、作物の遺伝子改良が担ってきた。ある試算によれば、植物育種のさらなる改善により、2050年までに世界の農業 GHG 排出量を、主に作物収量の増加によって、ほぼ 1GT-CO2/年削減 できる可能性がある。この試算には、従来の植物育種による遺伝的改良、マーカー支援育種やゲノム選抜のような新しい育種支援技術、およびバイオテクノロジー（遺伝子組み換え、遺伝子工学、遺伝子組み換え作物、遺伝子編集、CRISPR を含む包括的な用語）が含まれる。

1990 年代以前の遺伝子改良による歴史的な収量増加は、主に慣行育種によるものであった。慣行育種とは通常、交配、選抜、放射線および化学的突然変異誘発と定義され、より

高収量で、より強く、より短く、より多くの穀物を保持できる小麦や、より高い栽植密度でよく育つハイブリッド・トウモロコシを生み出した。例えば、1930年頃から始まったハイブリッド・トウモロコシへの移行は収量を向上させ、1930年から1980年のミネソタ州におけるトウモロコシ収量増加の 16% はハイブリッド種子への移行によるもので、43% はその他の品種改良によるものであった。

科学者たちが作物植物に遺伝子組換え（遺伝子工学または遺伝子導入と呼ばれることもある）を利用し始めたのは1983年のことで、遺伝子組換え耐虫性作物や除草剤耐性作物の最初の作付けは1995年頃から米国で始まった。遺伝子組換えは、ある植物種または非植物種の形質を、別の種の作物植物に導入することを可能にする。ある世界的なメタ分析によると、1995年から2014年の間に、遺伝子組換えでない品種と比較して、遺伝子組換えの耐虫性・耐除草性作物は平均して 収量が22%高く、農薬使用量が37%少なかった。こうした恩恵は、既存の病害虫・雑草管理システムの効果が低く、改善の可能性が高い低所得国ほど平均して大きく受けられる。高所得国での収量増加も、比較的小さいとはいえ、依然として大きい。遺伝子組換えは、干ばつに強い小麦の創出にも利用されており、干ばつの年にストレスのかかる条件下でも 作物収量を増加 させることができる。

遺伝子編集によっても、最近ではCRISPRの技術で、科学者たちはDNAに小さく正確な編集を加えることができるようになった。このような遺伝子の編集は、従来の育種において化学的突然変異誘発や放射線突然変異誘発を用いてランダムに行なわれてきた単一の文字のDNA変異と見分けがつかない。もっとも、遺伝子編集の方がはるかに編集スピードは速い。遺伝子編集は、作物に新しい形質を導入する時間を 3分の2近くも短縮 できると推定されている。例えば、トウモロコシの商業品種に病害抵抗性形質を追加する場合、従来の育種では7~8年かかるのに対し、遺伝子編集ではわずか 2~3年 しかかからない。別の試算によれば、トウモロコシの従来の育種では、新品種を市場に導入するのに平均 9~11年 かかるのが一般的である。これに比べ、遺伝子編集ではわずか 2,3年 しかかからないという。

最初の2つの遺伝子編集作物（高オレイン酸大豆と高GABAトマト）は、それぞれの遺伝子編集技術が最初に発表されてから 約9年後には市場に出回った。遺伝子編集は、作物を干ばつに強くしたり、問題となる病気に耐性を持たせたりするためにも使われている。

植物の遺伝的改良のための技術は、従来の育種や遺伝子組換え作物の第一世代と比べても、ますます速く、予測可能で、正確になってきている。遺伝子組換えや CRISPR 遺伝子編集の他にも、マーカー支援育種やゲノム選抜のような新しい手法が、従来の育種のスピードを高めている。

作物の遺伝的改良に寄与できる要素はバイオテクノロジーだけではないが、その重要性はますます高まっている。より多様な技術は、害虫、病気、雑草-これらはすべて収量増加の中心的な制約である-という絶え間ない課題に対処し、作物の生産性を継続的に向上させるための柔軟性を提供する。そして、作物の生産性を継続的に向上させる。従来の品種改良のようなスピードの遅い技術と比べ、遺伝子工学やゲノム編集のようなスピードの速い技術は、より迅速な改良を可能にする。

しかし、作物の遺伝的改良を支える技術における科学的躍進も、それを必要とする何百万もの生産者が高品質の種子を入手できなければ、世界の農業の生産性と生産高の向上には役立たない。単純に言えば、理想的な遺伝形質を持ち、高い生育率を誇り、病気の心配がない高品質の種子を供給することが、作物の収量を増加させる上で極めて重要なのである。

高所得国では、大規模農場は認定を受けた業者による高品質の種子に依存している。しかし、零細農家が多い低所得国では、そのような種子は手に入らず、価格も手ごろでないことが多い。零細農家は、自分や他の農家が前シーズンの収穫から取っておいた種子（しばしば地方品種や土着品種と呼ばれる）に頼らざるを得ないが、これらの種子は認定業者の種子よりも品質に**ばらつき**があり、病気の発生率も**高い**。

例えば、トウモロコシのハイブリッド種子は、1930年代から1940年代にかけて米国で大幅な収量増に貢献したが、低所得国ではあまり使われていない。ハイブリッド種子は、より生産性の高い子孫品種を作るために、特性の異なる2つ以上の植物を交配して作られる。ここで重要なことは、ハイブリッド種子から栽培された植物は、次の世代ではより低

品質の種子を生産してしまうため、農家は、高品質の作物を維持するために、シーズンごとに種子を買い直す必要があることだ。

東部、南部、西部アフリカの13カ国を対象としたある調査では、トウモロコシの栽培面積の平均 [37%](#) がハイブリッド種子を使用し、21%が認定された業者からのその他の高品質種子を使用し、43%が農民によって保存された種子を使用していることが示された。認定業者からのトウモロコシ種子であっても、ハイブリッド種子は最も成績の良い非ハイブリッド種子よりも平均で [18%](#) または [21~43%](#) 多く収穫でき、種子の年間コストの差を埋め合わせることができることが研究で示されている。[2017年の調査](#) では、ハイブリッド・トウモロコシ種子を植えているケニアの農家は、ハイブリッドではない種子で栽培している農家よりも裕福であることがわかった。

農家がハイブリッド作物を栽培する際の障害となるのは、種子のコストだけではない。[脆弱な普及システム](#)、農産物市場への限られたアクセス、零細農家の低い利益率、個々の作物のスケールメリットを制限する農場での作物の多様性、特定の品種に対する農民の愛着などが、ハイブリッド種子やその他の改良種子を農民が採用する可能性を低くしているのだ。民間企業によるプログラムは、農民が改良種子を採用する際の障壁を克服することができるが、そのためには信用制度や債務制度を通じて農業改良に資金を供給することが必要である。例えば、ワンエーカーファンド ([One Acre Fund](#)) は、農民に改良種子や肥料を信用供与し、近代的農業技術の研修を行い、市場へのアクセスを促進している。

イノベーションと未知なる可能性

世界の農業生産性を向上させることは、現在収量が低い地域の収量を上げるということだけではない。高所得国の収量を維持または増加させるためには、斬新な技術や継続的に改善される農法も重要な役割を果たさねばならない。

歴史的に、農業の飛躍的進歩は、公的部門の研究開発 (R&D) 資金の支援から多大な恩恵を受けてきた。

公的研究開発は、農業の収量を維持するために極めて重要であることに変わりはないが、農業研究に対する政府支出は、いくつかの主要経済国で鈍化または減少している。米国では、実質ドルベースで見た公的農業研究開発費は、2000年から2020年にかけて [3分の1に減少](#)した。

農業研究開発は、イノベーションを促進することによって生産性向上をもたらす。世界の農業生産性を向上させるためには、世界の農業研究開発支出、特に公的研究開発支出を増やす必要がある。農業経済学者による分析では、一貫して公的農業研究支出の高い効果が示されている。ブレイクスルー・インスティテュートの委託による [2023年の調査](#)では、米国の公的農業研究開発を約2倍に拡大すれば、2050年までに農業生産高が69.5%増加することがわかった。これは、なりゆきと比較して約5分の2の増加である。

より幅広い農業イノベーションの必要性の更に向こうに、今日、環境への影響を抑えながら生産性を向上させる可能性のある新技術がいくつも登場している。代替タンパク質は、従来の畜産由来の作物よりも少ない作物カロリーで高品質のタンパク質を生産できる。精密農業は、作物の収穫量を減らすことなく、化学物質の投入の必要性を減らすことができる。そして畜牛用飼料添加物は、畜牛の飼料効率を改善し、メタン生成量を削減するとともに、畜牛の成長を早めることができる。

こうした新技術や生産手法の改善は、生産性向上の重要な要素になりうるが、その恩恵は必ずしも約束されたものではない。多くの場合、これらの技術は研究開発の段階にとどまっており、また、これらの産業には、大規模な製造や展開のための資金もノウハウも不足している。

結論

食料安全保障の確保は、政治的にも社会的にも極めて重要な問題である。気候変動が農業全体の生産性を低下させる可能性も高い。しかし、気候変動が世界の収穫量変化の主要因となる可能性は、当分の間は極めて低いだろう。その代わり、農業収量の伸びと全体的な生産性は、これまで影響を及ぼしてきた多くの要因の結果であり続けるだろう。つまり

それは、研究開発への政府投資、農業計画、インフラの整備、生産地のシフト、作物品種改良、農業機械、化学・生物学的投入物などの技術、その他多くの要因である。

たしかに私たちは、気候変動が農業に及ぼす影響を懸念し、その緩和を目指すべきである。しかし、他の重要な農業への取り組みへの資金提供を犠牲にしてまでそうすることは、世界の農業収量の増加に依存している世界中の何億もの農民や食糧不安にさらされている人々を今以上に脅かすだけである。