

MEGATRENDS

食料問題について考える

変化を続ける食料システムにおける投資機会

2023年5月

当レポートは金融機関、年金基金等の機関投資家およびコンサルタントの方々を対象としたものです。すべての投資にはリスクが伴い、当初元本を下回る可能性があります。

PGIMについて

PGIM は、プルデンシャル・ファイナンシャル・インク（PFI）の投資運用部門です。PFIは145年以上の歴史を持ち、30以上の市場サイクル*を経験してきました。PGIMの1,400人を超える運用プロフェッショナルが、世界の主要な18か国の47事業拠点において、お客様にサービスを提供しています。PGIMは、1.2兆米ドルの運用資産を有する世界有数の資産運用会社として、堅実な運用プロセスや規律あるリスク・マネジメントを重視しています**。PGIMでは、それぞれのビジネス・ユニットが独立して、特定のアセットクラスに特化し運用を行っています。これにより債券、株式、不動産、プライベート・クレジット、その他オルタナティブを含むパブリックおよびプライベートの資産クラスにおいて、グローバルな経験と規模を持つ世界有数の資産運用会社による多様なソリューションを提供しています。詳しくは、<https://www.pgim.com/pgim-japan/> をご覧ください。

* ここで言う30の市場サイクルは、PGIM、その関連会社、およびその前身となる会社を通じたPFIの資産運用の経験に基づき定義付けられたものです。

** PGIMは、プルデンシャル・ファイナンシャル・インク（PFI）の投資運用部門です。PFIは、2022年6月発表のPensions & InvestmentsのTop Money Managersで、運用資産額で第11位（調査対象431社中）です。このランキングは、2021年12月31日時点のPFIの機関投資家顧客運用資産額を表しています。このランキングへの参加は任意であり、米国の機関投資家向け非課税AUMを保有する運用会社が対象となります。各運用会社は、アンケート形式にてデータを自己申告します。P&Iは、過去に参加実績のある運用会社、および調査への参加を希望する新規の運用会社に調査票を送付します。このランキングへの参加に対して、報酬は提供されていません。

はじめに

世界の食料システムは、様々な課題を抱えている（図表1）。食料システムが世界のGDPに占める割合は10%に過ぎないが、投資家はこの課題を注視する必要があるのではないかと¹。我々は、次の4つの理由により、脆弱な世界の食料システムの急速な変化について考察することが重要であると考えている。

1. 食料サプライチェーンの脆弱性は、マクロ経済に多大な影響を及ぼす

食品価格の上昇は、物価上昇の主要因となり、最終的にはマクロ経済に大きな影響を及ぼす可能性がある。さらには、食品価格の上昇が、中央銀行の金融政策だけでなく、規制および財政政策にも影響を与え得る。また、価格上昇がサプライチェーンの混乱からもたらされた場合には、個人消費が圧迫され、ひいては経済活動全体に影響が及ぶ可能性がある。家計支出の40%を食品支出が占める新興国においては、特にその可能性が高い。さらに、食料政策は財政政策の重要な部分を占めており、農家に対する支援および補助金は世界全体で総額7,000億米ドルを超えている²。

2. 食料安全保障は、政治的安定や地政学的リスクを評価する上で重要である

食料不安は、特に新興国やフロンティア市場において、国内政治不安を引き起こす要因となっている。最近では2010年の「アラブの春」において、食料不足とインフレがチュニジアとエジプトの政治変動につながった。食品関連企業が世界の労働者の40%を雇用し、大きな政治的影響力を持っていることにも注視すべきだ。フランスからペルー、インドから中国に至るまで、こうした政治的影響力は選挙結果を左右し、食品関連企業は大規模な補助金、保護規制、貿易障壁などの面で恩恵を受けている。

図表1：世界の食料システムにおける課題

カロリー摂取の格差	<ul style="list-style-type: none">8億人以上の人々が飢餓に苦しんでいる（世界人口の9人に1人）³。世界人口の29%が、中～重度の食料不安の下で生活している⁴。	<ul style="list-style-type: none">全世界で20億人以上が肥満または過体重となっている⁵。G8の肥満率は25%を超え、必要摂取カロリーを平均で50%上回っている⁶。
食料安全保障における理想と現実の乖離	<ul style="list-style-type: none">新型コロナウイルスとウクライナ侵攻は、国家の安全保障にとって食料安全保障が重要であることを浮き彫りにした。新興国やフロンティア市場では、富裕層の食に対する需要やニーズが満たされていない。	<ul style="list-style-type: none">食の同質化が進むことで、輸入食品への依存度が高まり、サプライチェーンが複雑化している。食料バリューチェーン全体で毎年25億トンの食品ロスが発生している⁷。
農業技術の格差	<ul style="list-style-type: none">欧米では、AIや高度な分析を活用した21世紀型の精密農業が展開されている。アルゼンチン、ブラジル、中国では、大規模機械化農法が展開されている。	<ul style="list-style-type: none">インドでは、80%以上が10エーカー以下の小規模農地で、手作業に頼っている⁸。南アジアやアフリカでは、1960年代の「緑の革命」当時の農法が現在も主流である。
気候変動と農業の相互作用	<ul style="list-style-type: none">世界の農地の40%はすでに水不足にさらされている⁹。気候変動により、農作物の収量は12%減少し、漁業生産は最大35%減少する¹⁰。	<ul style="list-style-type: none">農業が環境問題に影響を与えている比率：<ul style="list-style-type: none">世界の温室効果ガス排出量の30%¹¹森林破壊の80%¹²淡水消費量の70%¹³

食料安全保障は、地政学をも再構築している。最近の新型コロナウイルスやウクライナ戦争の影響を考えると、食料安全保障はますます国家の安全保障と見なされるようになってきている。食料品の確保をめぐる緊張が高まった例として、米国で中国系企業による農地所有の抑制を求める超党派による政治的圧力が高まっていることが挙げられる¹⁴。また、中国政府が「一帯一路」構想の一環として、農地取得やリースを推進しようとしていることは、中南米、アジア、アフリカの複数の国において深刻な懸念を引き起こしている¹⁵。

3. 世界の食料システムの変化に伴い、パブリック市場、プライベート市場を問わず、魅力的な投資機会が広がっている

世界の食料システムが急速に変化する中、投資機会とリスクにも大きな変化が生じている。注目される投資機会としては、最先端の食品倉庫やアグテック（最先端の技術を農業に応用すること）から生まれる分野から、農地に関連するデットやエクイティなど、これまで一般的に投資対象とされてこなかった領域まで、多岐にわたる。

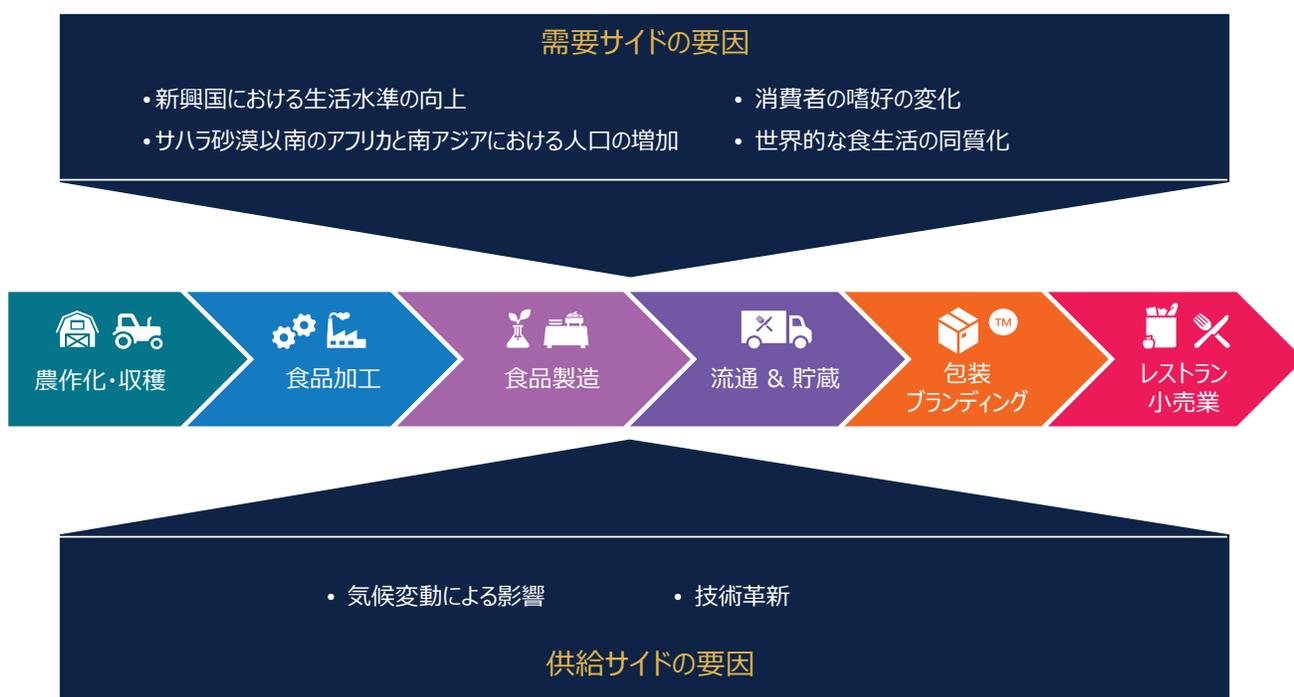
また、積極的な広告宣伝により、近年注目を集めていた代替肉や垂直農法等への投資は、懸念点が明確になってきている。

4. 「食」に関連した投資によって、投資家はESGに関する目標達成や、測定可能な効果を楽しむことができる可能性がある

現在の食料システムは、10年前のエネルギー・セクターと似た面がある。両者とも人類の生存に不可欠な財を提供する一方、他の要因からマイナス影響を受けることが多い。こうした状況は、ESGを重視する投資家にプレッシャーと機会の両方をもたらす。気候変動と食料生産の間には複雑な相互関係と増幅効果があることを考慮すると、投資家がより包括的、持続可能、栄養価が高いといった食料システムに投資することにより、目に見える変化につながる可能性がある。

したがって、投資家にとって、世界の食料バリューチェーン全体の再編成を促すような需要/供給要因を見極めることは特に重要である（図表2）。

図表2：食料バリューチェーンの全体像



出所：PGIMシーマティック・リサーチ

本レポートでは、このような食料システムの変化によって生じる新たな投資機会と隠れたリスクを理解するため、PGIMグループの債券、株式、不動産、プライベート資産、オルタナティブ資産の運用担当者、更には政策立案者、研究者、起業家、プライベート・エクイティおよびベンチャーキャピタルの投資家など、40名以上の専門家の知見を集めた。

最近の新型コロナウイルスやウクライナ情勢の影響を考慮すると、食料安全保障はますます国家安全保障と見なされるようになっていく。

レポートにおいては、世界の食料システムの進化を促す要因と、その結果として生じる投資への影響について紹介する。第1章では、需要面に焦点を当て、所得（および人口）の増加と消費者の食に対する嗜好の変化から生じる投資機会とリスクを検証する。第2章では、供給面に焦点を当て、気候変動に関連する投資テーマだけでなく、「アグテック」から研究所で培養される代替肉に至るまで、食料サプライチェーン全体にわたる様々なイノベーションについて検証する。最後に、第3章では、投資責任者が世界の食料システムに関する投資機会とリスクを考察する際に、ポートフォリオ全体でどのような選択肢があるのかについて検討する。

目次

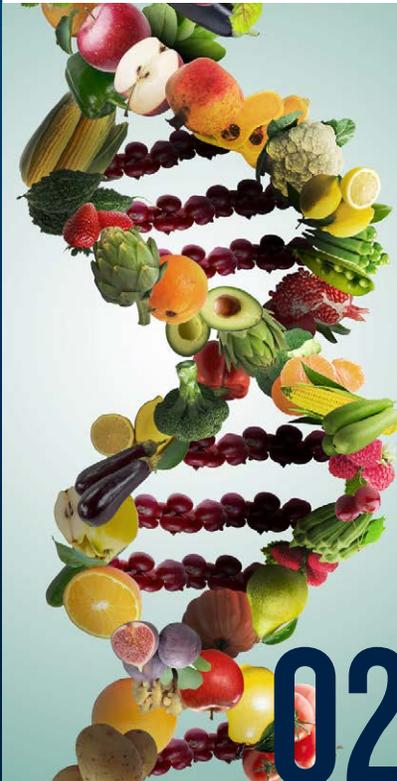
生活水準の向上と嗜好の変化により食料需要も変化している

5ページ



食料供給：気候変動と技術革新が食料生産に変化をもたらしている

13ページ



ポートフォリオ横断的に影響を及ぼし得る要因について考察する

23ページ



第1章

生活水準の向上と嗜好の変化により食料需要も変化している

“

所得の増加、世界的な食生活の同質化、便利で健康的な食生活の選好が進むにつれ、食品需要も大きく変化している。”

1

2

3

01

第1章 生活水準の向上と嗜好の変化により食料需要も 変化している

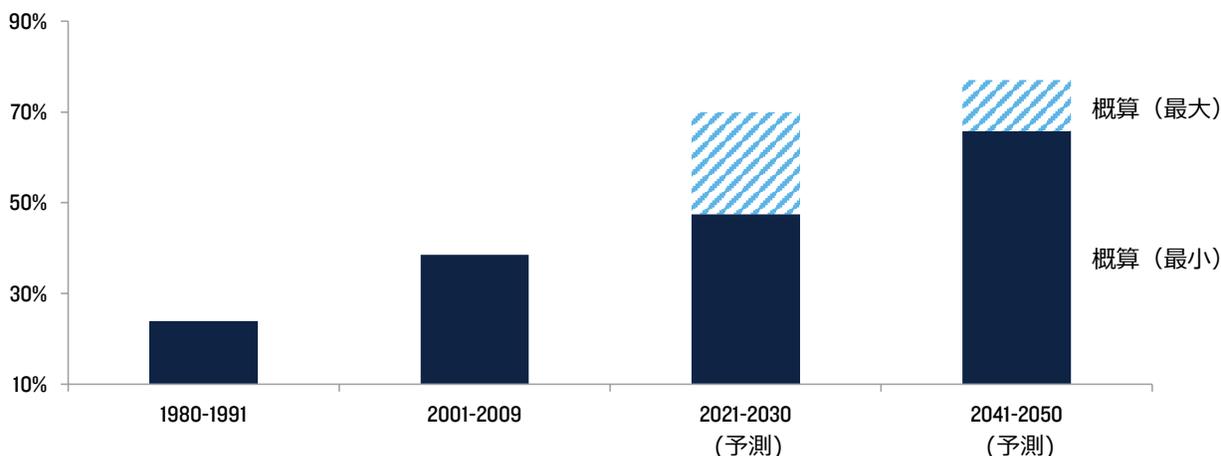
世界の食料需要に影響を与える要因を理解することは、食料システムにおけるあらゆる投資決定にとって重要であり、以下3点が今後の需要形成の鍵になると考えられる。第一に、人口増加から所得増加へのシフト。第二に、世界的な食生活の同質化が、食料サプライチェーンと農業生産に変化をもたらしていること。第三に、より便利で健康的かつ安全な食品を求める消費者の嗜好の変化である。これらの要因は密接に関連するが、必ずしも整合的ではない。

1. 人口増加と並んで、「豊かさ」は将来の食料需要を牽引する

過去60年間、世界の人口増加は食料需要の主な原動力となってきた。将来的には、世界人口は2050年までに25%増加し、約100億人に達すると見込まれており、その80%以上が南アジアとサハラ砂漠以南のアフリカにおける増加である。このように、特定の地域に集中して人口が増加すると予想されており、広範囲で人口増加が見られたこれまでの状況とは異なる。

今後見込まれる人口増加は低所得国に集中しており、これが食料需要に直接的な影響を与える。生活水準が向上するにつれて、食料消費は劇的に進化する。この進化には複数の段階があり、その中で見られる法則は、エンゲルの法則と呼ばれている¹⁶。低所得国の場合、食料品の消費量は所得の上昇に伴って急激に増加し、中所得国に達するにつれて横ばいになる。こうした所得増加に伴う効果は、食料需要の主要な推進力となる（図表3）。実際、いくつかの研究によると、この効果は、今後30年間でこれまでよりも

図表3：所得増加が食料需要の主要な原動力になりつつある
食料需要の増加に占める所得増加要因の割合



出所：PGIMシーマティック・リサーチ・アナリシス、国際応用システム分析研究所、世界銀行、国際食糧政策研究所。
注記：概算（最大及び最小）は、共通社会経済経路（SSP）に基づく試算です。

大幅に増大する可能性があり、食料需要の増加分の大部分を占める可能性が高い¹⁷。

さらに、所得増加に伴って、肉、魚、加工食品など、より多くの資源を必要とする食品に嗜好がシフトする。なぜより多くの資源を必要とするかを理解するためには、こうした食品を生産するために必要なエネルギーと、その食品が提供するカロリーを比較することが重要になる。例えば、牛肉 1 キロカロリーを消費するのに、約25キロカロリーの生産エネルギー（25倍のエネルギー）が必要になる。他の肉類も同様にエネルギー効率が悪く、豚肉の生産には9倍、鶏肉は5倍のエネルギーが必要となる¹⁸。また、食生活が動物性タンパク質へシフトした結果、トウモロコシや大豆などの飼料用穀物の需要が増加している。

所得の増加に伴って、肉、魚、加工食品など、より多くの資源を必要とする食品の消費が増える傾向がある。

2010年から2020年にかけて中国の豚肉消費量が増加したのに伴い、中国の大豆輸入量がほぼ倍増して1億200万トンに達したのは偶然ではない¹⁹。

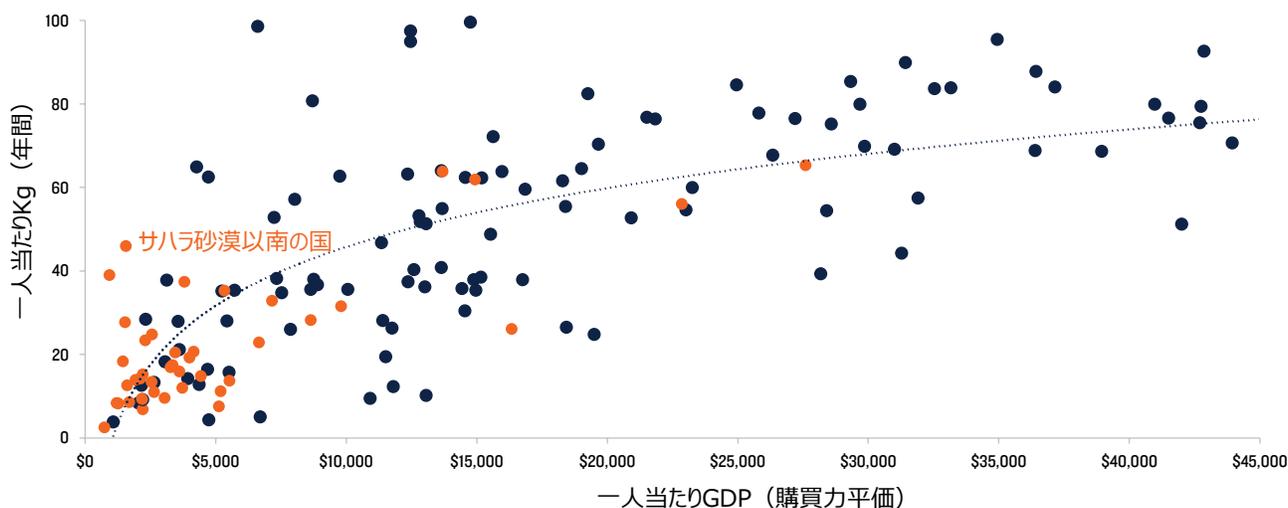
消費者の生活水準が向上して食生活にも変化が生じると、1日のカロリー摂取量を満たすために必要なエネルギー量は大幅に増加する。重要なことは、今後30年間で人口増加が最も集中する地域である南アジアとサハラ砂漠以南のアフリカでは、人口増加に加えて所得増加も見込まれることから、食肉の消費量が急激に増加すると考えられる（図表4）

2. 食生活は世界的に同質化しつつある

所得の増加によって、多くの資源を必要とする食品の消費量が増えているだけでなく、食生活も地域を越えて同質化しつつある。これが、将来の食料需要を牽引する第二の要因である。過去60年間、1人当たりの所得が増加している新興国やフロンティア市場では、過去60年間に亘って食肉の消費量が増加しただけでなく、「西洋型の食事」とも呼ばれる動物性タンパク質、乳製品、小麦、油、砂糖を多く含む食事へのシフトが見られた（図表5）²⁰。

図表4：生活水準の向上とともに食肉の消費量も増加
サハラ砂漠以南の国と、その他の国の比較

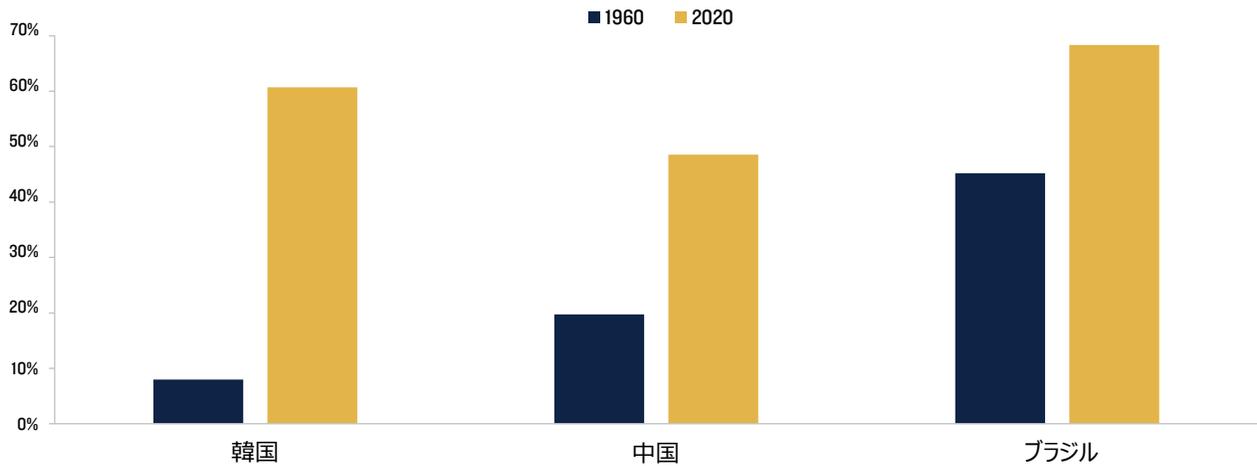
食肉の消費



出所：世界銀行、国連食糧農業機関。

注記：一人当たりGDP（購買力平価）は2017年を定数とします。（米ドル）

図表5：世界の食生活は同質化しつつある
1日の総カロリーに占める「西洋型の食事」の割合



出所：国連、食糧農業機関。

注記：この表では、動物性タンパク質、乳製品、小麦、植物性油脂、糖類に偏った食事を「西洋風の食事」としています。

世界の食生活の同質化は、次の3つのような影響をもたらす。第一に、生産地から最終消費者までの輸送距離が長くなる。第二に、食料の輸入と多国籍サプライチェーンへの依存度が高まり、これによって新たなインフラと輸送ニーズが生じる一方、これと同時に供給途絶と食料安全保障を巡るリスクが増加する。第三に、世界的な食生活の同質化により、徐々に限定的な作物に依存するようになり、作物特有の病気や害虫に対抗するための食料システムの抵抗力が低下する。

消費者も食品業界も、食生活と健康の高い関連性を認識するようになり、消費行動に変化が生じている。先進国においては、食材の調達から加工に至るまで、健康を重視して選択する傾向が高まっている²³。食品メーカーや食品加工業者は、食物繊維を多く含み、糖分や脂肪分を抑えた健康的な製品を増やすことで、こうした嗜好の変化に対応している。例えば米国では、健康への影響が懸念されるブドウ糖果糖液糖の生産量は、1999年のピーク時から約20%減少している²⁴。

3. 世界の消費者の嗜好は変化している

食料需要を形成する第三の主要因として、消費者の嗜好の変化が挙げられる。多くの変化は一時的な流行で終る傾向が見られるが、いくつかの変化は永続的なものであり、これらを理解することが重要である。

先進国の消費者はより健康的な食品を求める傾向がある

食生活が、豆類や野菜中心から、糖分やナトリウムを多く含む肉類や加工食品へとシフトするにつれて、高血圧、糖尿病、肥満、心血管疾患が目に見えて増加している。2017年には、世界の全死亡者の死因の20%以上が、食生活に関連したものだ^{21, 22}。

新興国やフロンティア市場の食生活において、過去60年間にわたって動物性タンパク質、乳製品、小麦、油、砂糖を多く含む食事へのシフトが見られた。

このような嗜好の変化は、先進国における政策転換によってさらに後押しされている。米国とEUでは、栄養表示に関する透明性を高めるとともに、医療用調整食品（特定の慢性疾患や疾病に対応するために栄養士が調合/承認した食品）を、健康保険の一部として助成することを目的とした政府の取り組みが行われている²⁵。

世界の消費者は、「便利さ」を非常に重視している

パンデミックによって加速され、現在も進行している変化の一つに、家庭での食事がより便利になっていることがある²⁶。さらに、都市化と世帯人数の縮小により、食習慣は変化しつつある。自炊の回数が減るにつれて、特に新興国を中心に、レトルト食品や宅配サービスの利用が急増している²⁷。昨今の宅配サービスはレストランからの配達にとどまらず、ゴースト・レストラン（実店舗を持たず、宅配サービスのみを行う飲食店）から調理済み食品の定期購入サービスに至るまで、広範囲におよんでいる。

調理済み食品に対する世界的な需要は、2029年までに60%増加して2,500億米ドルに達すると予測されている²⁸。

また、食へのこだわりや健康志向の高い顧客に対応するために、オンライン注文の利便性を高め、流通モデルを変更する食品サービス会社が増えている。米国では、2030年までに家庭用食品市場の30%近くをオンラインの食品サービスが占めるようになると予想されている²⁹。こうした中、スーパーマーケットでは、従来のファストフードよりも健康的な調理済み食材を提供する「Grab・アンド・ゴー」が拡大している³⁰。



食品ロスおよび食品廃棄*

毎年、世界中で生産された食料の約40%（約25億トン、1兆米ドル相当）が、消費されことなく廃棄されている³¹。実際、先進国の消費者は、サハラ砂漠以南のアフリカで生産される全ての食料品とほぼ同じ量の食料を廃棄しており、食料安全保障、福祉、環境に大きな打撃を与えている。廃棄される食品を生産するために使用される土地、水、その他の資源によって約4.4ギガトンの温室効果ガス（GHG）が排出されており、これは中国、米国に次いで世界第3位の排出量に相当する^{32, 33}。

食品ロスは食料バリューチェーンのほぼ全ての段階で発生するが、各段階における食品ロスの程度は国によって異なる。例えば、先進国では、食品廃棄物全体の40%以上が小売店や消費者の段階で発生している。一方、新興国では、収穫後の加工段階における食品ロスが全体の約40%を占める³⁴。

投資において、食品ロスを最小限に抑え、いかに食料安全保障を強化するかが、地域によって異なることに注目することが重要である。例えば、新興国における冷凍・冷蔵倉庫への投資は、作物が収穫された後の食品サプライチェーンのインフラ改善に寄与し、新興国における果物や野菜の食品ロスの抑制に大きく貢献し得る。先進国では、廃棄された果物や野菜を他の動物用の飼料として再利用したり、加工食品の原料として利用したりすることで、食品ロスを抑制することが可能となる。

* 国連食糧農業機関は、食品ロスを「収穫されてから小売されるまでの間における、食品の量または質の低下」と定義している。また、食品廃棄は「小売されてから最終消費されるまでの間における、食品の量や質の低下」と定義されている。

投資への影響

人口と所得の増加、世界的な食生活の同質化、消費者の嗜好の変化という3つの要因によって、今後数十年にわたる食料需要は大きく変化すると考えられる。過去の傾向からの変化は、投資にも大きな影響を与え得る。今後の投資機会とリスクを評価する際には、以下の5つのテーマを考慮すべきだと考える。

1. 植物由来の肉の市場には陰りが見える一方、従来型の食肉市場には逆張りの投資機会が存在する

植物由来の肉はこれまで大きく宣伝されてきたが、現実はその宣伝文句とは異なっている³⁵。生産業者は急成長を続けてきたが、足元で成長は頭打ち、あるいはピークを打っている。わずか数年前にファストフード・チェーン店が「ビヨンド・ミート・バーガー」を提供し始めた当時は、急成長が続き消費者の嗜好も劇的に変わっていくことが期待されていた。しかし、成長率は鈍化し、最近の代替肉市場が1.7兆米ドルの世界の食肉市場に占める比率は、0.2%未満にとどまっている³⁶。実際、2030年までに世界の動物性食肉の需要が14%増加するのに対して、代替肉への需要は減少傾向にある³⁷。

消費者は所得の増加に伴い、より多くの肉を消費するようになってきている。世界の食肉生産者は、特に新興国の中間層の間で高まるこの需要拡大の恩恵を受けると見られる。畜産業は、規模の経済が支配するビジネスである。米国のTyson FoodやOSI、ブラジルのJBSなどのように、製品の種類だけでなく販売地域も多様化しているグローバル企業はほんの一握りにとどまる。このような大手食肉メーカーは、循環的な供給要因に適切に対応することができ、安定的なキャッシュフローを得ることができる³⁸。

ESGの観点からは、伝統的な食肉生産による二酸化炭素排出量や環境への影響が問題視される可能性がある。しかし、投資家は、食料システムに関連する様々な企業を排除するのではなく、これら企業に積極的に働きかけることによって、測定可能な影響を与える機会に着目すべきである。これについては、第3章で詳述する。

2. 倉庫と輸送が世界的な成長機会をもたらす

消費者がより新鮮な食品を求め、オンラインの食料品店や食品配送の需要が高まるにつれ、冷蔵（冷凍も含む）倉庫の拡充が不可欠となっている。ESGを重視する投資家にとって、輸送チェーンへの投資は、サプライチェーンの様々な段階での食品ロスを減らす機会にもなる。

米国では、食品倉庫に関する不動産物件の魅力が特に増している。米国は冷蔵倉庫の単一市場としては世界最大であり、消費者は年間を通じて様々な食品を購入し、宅配食品に慣れ親しんでいる。また、新しい消費者直販ビジネス（Imperfect FoodやMisfits Marketなど）は、既存の倉庫だけでなく、都市部の人口密集地に近い新たな施設のテナントに顧客をもたらすことになり、不動産投資家はその恩恵を受けられる可能性がある。

投資家は、アジアや中南米の冷蔵倉庫にも投資機会を見出すことができる。これらの地域では、増加を続ける中間層がeコマースを積極的に利用し始めていることに加え、より高品質で新鮮な食品を求めるようになってきている。これにより、一般的な倉庫に比べて冷蔵倉庫の賃料が高くなっている。中国、ベトナム、インド、メキシコなどでは、広範囲な地域で冷蔵倉庫市場が活況を呈しており、今後10年間で20%を大きく超える成長が見込まれている^{39, 40}。

アジアや中南米の冷蔵倉庫にも投資機会があると考えられる。これらの地域では、中間層がeコマースを積極的に利用し始めていることに加え、より高品質な食品を求めるようになってきている。

ニチレイやFrialsaといった東南アジアや中南米の物流業者も、それぞれ食生活の同質化の恩恵を受けており、生産者や小売業者にサービスを提供する低温物流事業を確立している^{41, 42}。株式や債券の投資家は、成長性、安定したキャッシュフロー、不況への耐性を備えたこうした企業に魅力を感じるだろう。

特に、米国に本社を置くEcho Global Logisticsのような輸送会社は、倉庫と長距離輸送を提供し、低温輸送と保管の双方の需要拡大の恩恵を受けているため、成長期待が高まっていると思われる。野菜や加工食品の多くは温度管理された輸送を必要とし、凍結、破損、漏出などのダメージを受けやすいため、それに対応できるサービスが求められている。

老舗の食品パッケージ会社は、消費行動の変化に左右されることなく、調理済み食品の需要拡大から恩恵を得ることができる。

3. パッケージ関連ビジネスは、食の流行に左右されることなく安定したキャッシュフローを生み出す

消費者の嗜好の変化は、パッケージされた食品に直接的な影響を与える。調理済み食品には必然的にパッケージが必要となるが、開閉可能な袋など利便性の高い商品や、過剰包装に関する懸念に対処するための革新的な技術に対する需要も生じている⁴³。一方、パッケージに対する需要の増加は、調理済み食品に対する需要の増加を上回っている。食品廃棄を減らしたいという願望や、輸入食品により依存するようになった事もその背景にある⁴⁴。

老舗の食品パッケージ会社は、消費者の行動変化や最新の流行に左右されることなく、成長を続ける調理済み食品市場の恩恵を受けることができる。パッケージに対する需要には継続性があるものの、その特性の改善（例えば、軽量化や再封可能化など）やリサイクル率や全体的な持続可能性を向上させるための絶え間ない革新が求められている。

投資家は、米国のNovolexやBerry Globalのような、市場をリードする企業に注目すべきであると考えます。ここ数年で大きく成長している分野のひとつに、使い捨ての金属容器がある。ビールやエナジードリンクの需要が高まっていることから、Ardagh Metal PackagingやCrown Holdingsといった米国企業が魅力的な投資先となる可能性がある。

食品パッケージに必要な特殊な機械や設備も、興味深い投資機会を提供する可能性がある。例えば、アップルソースやベビーフードによく使われる、開閉可能な注ぎ口を備えたプラスチック容器は、パッケージのための特殊な機械を必要とする。米国のDuravantやドイツのKronesのような同分野の大手企業は、新しい技術革新に資金を振り向けられるだけの十分なキャッシュフローを持ち、相対的に不況への耐性を有しており、安定した顧客基盤を持っている。

4. 健康を重視した商品選択が食料品店と食品のイノベーションを促す

消費者の間では、より健康的な食品を求める意識が高まっている⁴⁵。まだ発展の初期段階ではあるが、より健康的で持続可能な食品を提供する新興企業は、魅力的な投資機会を提供できる可能性がある。米国では、Voyage Foodsのような企業が、健康、環境、あるいは社会に対する課題を抱える食材の代替品の生産に注力している。同社の製品ラインアップには、ナッツ不使用のピーナッツバター（アレルギーのある人向け）や、カカオ不使用のチョコレートやコーヒー（カカオ生産とコーヒー取引は、どちらも倫理的な問題を抱えている可能性がある）などがある。また、欧州のHello Freshや米国のDinnerlyのように、健康増進を目的としたパーソナライズされた食事サービスを提供する会社も増加している。ベンチャーキャピタル（VC）投資の機会を模索する投資家は、消費者の行動や嗜好の変化を強要する企業でなく、価格と味の両方の魅力を追求しようとしている企業に注目すべきであると考えます。

健康重視のトレンドは、食品小売業にも機会をもたらしている。米国では個人経営のWegmansやHy-Vee、欧州では上場企業のTescoやCarrefourのような特定の地域で競争優位にある食料品店が、こうした変化の恩恵を受ける可能性があると考えられる。

顧客が小売企業のプライベート・ブランドに愛着心を持つようになる中、これらの小売企業は、より健康的で利益率の高い商品を拡充してきた。その結果、これらの企業は価格設定に大きな柔軟性を持つようになっている。また、地域の大手小売企業は、テクノロジーとデジタルを活用し、消費者にオンラインおよび実店舗での高度なショッピング体験を通して高い利便性を提供している^{46, 47}。

食の安全性に対する懸念から、急速に都市化が進む国では、認知度の高いブランド、インスタント食品、パッケージ食品への需要が著しく高まっている。

5. 食における利便性と安全性に対するニーズが、新興国での機会を促進する

食の安全性に対する懸念から、インド、ブラジル、中国など急速に都市化が進む国では、認知度の高いブランド、インスタント食品、パッケージ食品への需要が著しく高まっている^{48, 49}。投資家は、ブランド力や現地での物流専門知識を持つ、食品・飲料メーカーへの投資機会を模索すべきである。

例えば、アジアでは、インドのBritannia（焼き菓子メーカー）やVarun Beverages（ペプシコやトロピカーナ飲料）などの上場企業への投資機会がある。

同様に、インドネシアを拠点とする家族経営のIndofoodは、東南アジアやアフリカで、インスタント・ラーメン、飲料、手軽なスナックなど利便性の高い食品を専門に扱っている。

中南米では、信頼できるブランド力とアメリカ大陸全体にわたる卓越した流通ネットワークを持つ世界最大の家族経営のパン製造会社であるGrupo Bimboのような企業の社債も、魅力的な投資対象といえるかもしれない。

また、Central America Bottling（PepsiCo）やCoca-Cola FEMSAのような飲料企業も、世界的なブランド力と広大な地域流通網を備えているため、魅力的な投資対象となり得る。このように、中南米やアジアでは、食における利便性の追求や同質化が進むことで、今後も成長が期待される企業が存在している。

第1章では、食料システムを変化させる要因について、需要サイドから考察した。第2章では、変化を促す主要因について、供給サイドから考察する。具体的には、気候変動と技術革新が、農業と食料生産をどのように変えていくか検証する。



第2章

食料供給：気候変動と 技術革新が食料生産に 変化をもたらしている

“

世界の食料システムは、改善の余地があるものの、毎日20兆カロリー以上を供給している。”

1

2

3

02

第2章

食料供給：気候変動と技術革新が食料生産に変化をもたらしている

前章では、需要を牽引する主な要因と、それによって投資環境がどう変化しているかに焦点を当てた。本章では、世界の食料システムの供給サイドに目を向ける。世界の食料システムは、改善の余地があるものの、毎日20兆カロリー以上を供給している⁵⁰。食料サプライチェーンには、投資の観点で軽視できない2つの重要な変動要因がある。一つは、農業と気候変動が実際どのように相互に影響し合うかということであり、もう一つは、食料生産の隅々にまでテクノロジーとイノベーションが押し寄せていることである。

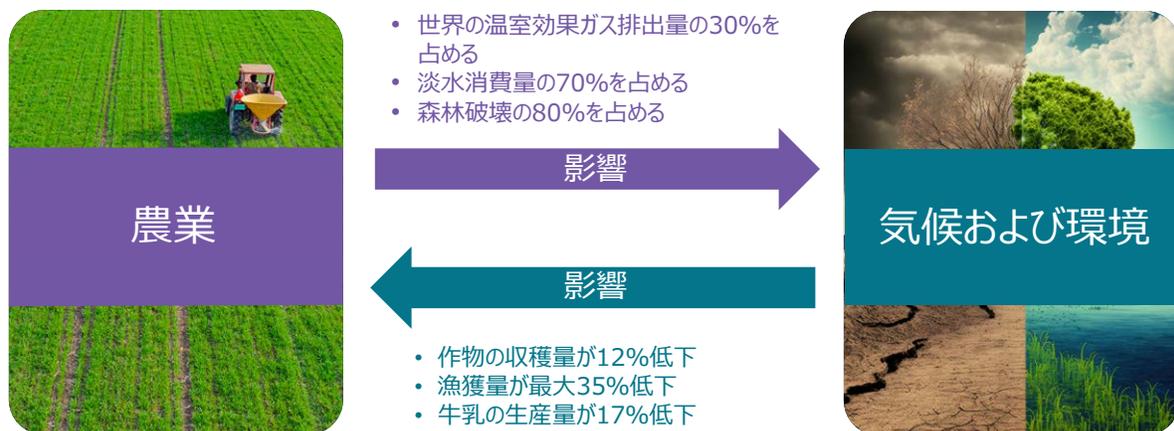
1. 環境と農業の相互関係

気候変動と食料システムを巡っては多くの議論がなされているが、両者には複雑な双方向の因果関係があることは見落とされがちである（図表6）。気候変動が食料生産に及ぼす悪影響はよく知られているが、食料システムが環境に与える影響の大きさにはあまり注意が払われていない。実際、世界の食料生産は、淡水消費の70%、温室効果ガス排出の30%を占めている⁵¹。

食料生産が環境と気候変動に与える影響

特にトウモロコシ、小麦、米などの主要作物を中心とした今日の世界の農業の基礎は、1960年代の「緑の革命」にまで遡ることができる⁵²。その当時と比べて生産性は驚異的に向上しているが、これは新しい種子の育成技術および合成肥料や農薬の普及によってもたらされた。今日でも、こうした農法が世界のほとんどの地域で主流となっている。しかし、21世紀型の持続可能な社会を追

図表6：農業と環境は相互に影響し合っている



出所：PGIMシーマティック・リサーチ

求する観点で食料生産を考えると、この従来型の農法は明らかに改善される必要がある^{53, 54}。

合成肥料は水源や海洋生物に悪影響を及ぼす可能性がある

肥料は作物の収穫量を増やすための簡単で効果的な方法であるが、窒素肥料の継続的な使用は環境悪化の一因となっている⁵⁵。被覆作物（肥料の流出や土壌の浸食を防ぐために植える植物）をあまり使用せず、休耕期間が短く、頻りに田畑を耕す現在の農法では、土壌が自力で栄養分を補充することはできない。その結果、作物の栽培には、より多くの合成肥料が必要となる⁵⁶。米国のトウモロコシ栽培に使用される毎年の肥料の3分の1は、土壌肥沃度の損失分を補うためのものに過ぎず、農家には5億米ドル以上のコストがかかっていると推計される⁵⁷。

世界の農地の40%は既に水不足に陥っており、将来的には最大で80%近い農地が水不足に陥ると予測されている。

畜産に伴うメタンガスの排出

畜産は、牧草地や飼料用作物の栽培のために森林伐採を行う事などにより、環境に有害な影響を及ぼしている。温室効果ガスの排出を抑制するための計画には、食料生産に関する項目を含める必要があるが、畜産は世界の温室効果ガス排出量の約15%を占めている⁵⁸。その多くはメタンガスという形で排出され、二酸化炭素の80倍の温室効果ガスとして作用する。牛、羊、ヤギは、牧草の硬い繊維を消化する際に、胃の中でメタンを発生させる。

家畜が消化の際に発生させる腸内メタンのほとんどが大気中に排出され、これが世界のメタンガス総排出量のおよそ3分の1を占めている⁵⁹。動物由来の食品に対する需要が高まる中、現在の政策や慣行が続く限り、畜産によるメタンガス排出量は2050年までに30%増加すると予測されている⁶⁰。

気候変動は様々な形で農業に直接的な影響を与える

遠く離れた極地は別として、猛暑、水不足、降雨量の変動など、気候変動が作物の収穫量に与える影響は極めて大きい⁶¹。例えば、2022年3月、インドは100年以上ぶりの猛暑に見舞われた。これを受けて小麦の収穫量が全国平均で15%減少し、同国は小麦の輸出を禁止した⁶²。これは、特定の作物や地域に限ったことではない。気候変動により、世界全体のトウモロコシ生産量は2030年までに最大20%減少すると予測されている⁶³。

水不足も農家の懸念材料であり、もはや仮説上のリスクとは言えない。ある調査によると、世界の農地の約40%は既に水不足に陥っており、将来的には最大で80%近い農地が水不足に陥ると予測されている⁶⁴。例えば欧州は、過去500年で最悪の干ばつに見舞われており、トウモロコシや小麦などの主要作物の収穫量が25%以上減少すると予想されている^{65, 66}。

暑熱ストレスによって畜産の生産性が低下

暑熱ストレス（高い気温、湿度、日射の組み合わせ）は、動物の生育環境に悪影響を及ぼし、これによって畜産の生産性が低下する。暑熱ストレスに関して、家畜は気温が1度上昇することに飼料の採食量が最大5%減少する⁶⁷。これにより、一般的には体重、乳製品の生産高や繁殖力が低下するが、牛などの大型家畜は更に深刻な影響を受ける。暑熱ストレスだけで、牛乳と牛肉の生産は総額で年間400億米ドルの損失を被ると予想されており、米国、英国、西アフリカでは今世紀末までに牛乳生産量が最大で17%減少すると予測されている^{68, 69}。

海水温上昇の影響は見過ごされがちである

地球温暖化は、陸地の気温だけでなく、海洋や海水温にも影響する。海水温の上昇により、世界の一部の地域では、既に水産物の漁獲量が減少していることが明らかになりつつある⁷⁰。魚類やその他の海洋生物は体温調節機能が限られており、水生環境の僅かな変化でさえ、その生態に大きな影響を与える可能性がある⁷¹。

実際、海洋温暖化によって、既に漁業生産は15%から35%減少している⁷²。

先見性のある投資家は、作物科学、アグテック、食料生産を変革する「代替農業」などに焦点を当てたいと考えるだろう

気候変動による間接的な影響は多岐にわたり、それに対処するためのコストも高くなる

気候変動は、雑草や害虫の蔓延から作物の栄養価の低下まで、農業に様々な間接的影響を及ぼす。今後、気候変動は、食料システムが需要拡大に対応する中で、より深刻な影響を与えることになるだろう⁷³。

多くの雑草、害虫、菌類は、気温および二酸化炭素濃度が上昇すると繁殖する。実際、冬季に温暖化が進むと、その地理的な生息範囲が拡大し、自然界による害虫駆除効果（例えば、冬の間気温が低下することで、古い世代が選別除去される）が低下する可能性がある。このような変化により、新たな地域への昆虫の侵入や、昆虫が媒介する植物菌類や病気の増加につながる可能性がある⁷⁴。

また、こうした変化に対処するためのコストは高額になる可能性があり、米国の農家は雑草を駆除するだけの目的のために、既に年間で110億米ドル以上を費やしている⁷⁵。

2. 食料の持続可能性と生産性を高めるためには、テクノロジーとイノベーションが不可欠である

将来的な課題解決を目指して食料の栽培および生産に関する新しい手法を見つけるためには、テクノロジーとイノベーションが重要な役割を果たす必要があるだろう。技術革新および現代技術は、食料バリューチェーン全体で既に導入されている。

投資家にとって重要なのは、テクノロジー関連のスタートアップ企業とグローバルな既存企業の両方が、あらゆる段階で変化を促している現状を認識することである。

先見性のある投資家は、作物科学、アグテック、食料生産を変革する「代替農業」などに焦点を当てたいと考えるだろう（図表7）。

作物科学によって、気候変動への耐性および収穫量を高めることができる

作物科学とは、新しい種子の開発や、植物の品種改良、そして新しい肥料の開発などを指すことが多い。農家は何世紀にも亘って品種改良や独自の植物の開発を続けており、交配種やハイブリッド種などの種子品種の進歩は、緑の革命の主要な要素であった。今日、作物科学は、農業全般におけるイノベーションの原動力となっている。現地の土壌、水、気候などの条件に基づいて最適化された種子品種は、収穫量を大幅に増加させることができる。

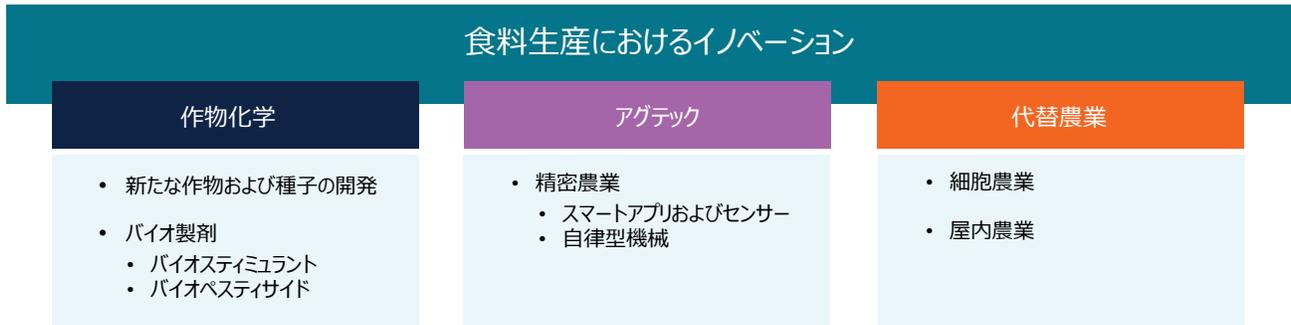
さらに、新たな害虫、病気、菌類に対する耐性を備えた交配種は、気候変動の間接的な影響を緩和することに効果を発揮している。具体的には、短い（または長い）成長期間に適応できるよう、成長サイクルが短い（または長い）品種を育成することで、作物の収穫量を高めることができる。さらに、種子経路を改良することで、より早い成長、より栄養価の高い作物、光合成効率の向上につながる可能性がある。これらは全て、耕作可能な土地および水の量がほぼ限界に達している中でも、より多くの食料生産を生み出す手段となり得る。

新しい品種の開発によって、食料システムの耐性を高めることもできる。例えば、新たに開発された低身長のカウモロコシは、従来のものに比べて強風や異常気象への耐性がある。また、より深く長い根を持つ植物に品種改良することで、干ばつや暑さへの耐性を高めることができる。

バイオ（生物学的）製剤は環境負荷が少ないが、導入には課題がある

化学肥料や作物保護は、環境への影響が切り離せない。一方、植物を害虫から守り、病気を予防し、収穫量を向上させるために、自然界の生物を利用した全く新しい化合物が登場している。この領域は、様々な形で養分を吸収できるようにしたり、養分を効率的に吸収できるようにしたりすることで成長を促進する「バイオスティミュラント」と、植物を保護する「バイオペスティサイド」とに大別される^{76, 77}。

図表7：食料生産におけるイノベーションの主な領域



出所：PGIMシーマティック・リサーチ

バイオ（生物学的）製剤と呼ばれるこれらの新しい化合物は、大部分が生物または天然物質から作られ、生物学的プロセスを触媒として機能する。

これらの特性により、従来の化合物よりも環境負荷は非常に低くなっている。農業用のバイオ製剤の世界市場は、従来の農薬市場の約6分の1とまだ小規模だが、2030年までに2倍以上に拡大すると予想されている^{78, 79}。

ブラジルや欧州ではバイオ製剤の普及が比較的進んでいるが、北米やアジアは出遅れている⁸⁰。業界が直面している課題の一つとして、植物の成長プロセスに少しずつ影響を与えていくため、収穫量増加の効果を明示しにくいことが挙げられる。例えば、従来の除草剤では、雑草を駆除することで、その明確な有効性を示すことができる。バイオ製剤の場合、変化に時間がかかることに加え、それほど効果が明白でない可能性もあるため、その有効性の検証はより曖昧になりがちである⁸¹。

アグテックは、食卓に至るまで、生産性と持続可能性を高める

農業に必要なのは、種子、太陽、水、肥料、農薬、そして労働力と非常にシンプルなものであり、昔からほとんど変わらない。アグテックとは、より効率的な農業を行うことで、これらの必要量を減らし、それによって生産性と持続可能性を向上させるためにテクノロジーを活用することを指す。

精密農業

精密農業とは、アグテックの先進的な事例であり、生産性を向上させるとともに農業に係る環境問題に対処する、一連

の農場管理手法を指す。精密農業は、農場全体の植物や作物の生育状況のばらつきを測定し、それに対応することを目的としている。作物に埋め込まれたセンサーは、温度、水分、土壌や空気中の主要栄養素（窒素など）の水準などの変数を監視している。これらのデータは、予測分析ソフトウェアのインプット情報となり、いつ、どれだけの水、肥料、殺菌剤を供給するかが決定される。これにより、農家は投入コストを削減し、生産性を高めることができる。また、水の使用量を最小限に抑え、窒素や化学物質の流出など環境への影響も軽減することができる⁸²。

新しい品種開発は、従来よりも耐性のある農作物を作ることによって、食料システム全体の耐久性を高める効果も期待できる。

精密農業はまだ初期段階の技術であるため、標準化されていない技術が断片的に存在するなどの課題に直面している。共通の技術プラットフォームを共有していないことで、センサーとソフトウェアおよび水/養分の供給システムがシームレスに連携することが難しい場合がある。さらに、インターネットやモバイルの接続が安定していない場合もある⁸³。最後に、精密農業に必要なセンサー、ソフトウェア、水/養分の供給システムには多額の投資とインフラ、そしてメンテナンスが必要になる。

そのための運用コストは、小規模な農場にとっては莫大な金額となり、その回収期間も非常に長期に亘る可能性がある。

細胞農業では、細胞の増殖を促す発酵やバイオテクノロジーのプロセスを用い、細胞培養物から農産物を栽培する。

代替農業は革新的な食料生産手段を提供する

細胞農業と培養肉

世界の食肉需要は過去50年間で3倍にまで増加し、2021年には3.4億トンに達した⁸⁴。世界で1.7兆米ドルに及ぶ食肉市場の規模は、食肉に対する人間の根本的な欲求を反映している⁸⁵。細胞農業では、細胞の増殖を促す発酵やバイオテクノロジーのプロセスを用い、細胞培養物から直接的に農産物を栽培する。このため、より持続可能な方法でタンパク質を生産できる可能性がある。

培養肉は、細胞農業の一例である。動物細胞の一部から肉を作ることができ、これに栄養分を与え、バイオリクターと呼ばれる巨大な鋼鉄容器の中で大量かつ高密度に増殖させることができる⁸⁶。このような革新的な生産技術は、土地や飼料用穀物の使用を最小限に抑えながら、食肉に対する需要拡大を満たすのに役立つ可能性がある。また、生産拠点を最終消費者の近くに容易に移すことが出来るほか、畜産から排出されるメタンガスや、食肉の長距離輸送に伴う二酸化炭素の排出を削減できる可能性もある。

しかし、培養肉関連ビジネスは極めて初期の段階にあり、大きな課題に直面している。第一に、消費者が培養肉を受け入れるかどうかは依然として不透明である。工場で生成された培養肉が市場に導入されてからまだ多くの時間が経過していないことを考えると、消費者が従来の食肉の代用品として培養肉を受け入れるかどうかは定かではない。

また、「遺伝子組み換え」食品に対する偏見や、農場ではなく研究室で作られたものを食べることに對する躊躇もあるかも知れない。

第二に、培養肉もしくは培養魚肉が、従来の飼育肉に対抗するためには、コスト競争力が必要になる。これは、現在の生産工程におけるエネルギー消費量や生産規模の拡大が困難であることを考えると、大きな課題となる⁸⁷。規模の経済性について分析した結果によると、培養牛肉の生産コストは1ポンドあたり約11米ドルと推定されている。これに対し、米国で生産された従来型牛肉のスーパー店頭価格は、1ポンドあたり5米ドル以下である⁸⁸。

徐々にコストが低下すると楽観的な予測に基づいても、この先10年以上にわたって培養肉は飼育肉と価格面では競争できない可能性がある⁸⁹。

屋内農業

植物は数百年も前から温室で育てられてきたが、最近のテクノロジーによって新たな可能性が広がっている。温室や建物の中で作物を栽培することにより、幾つかの恩恵がもたらされることが期待できる。気候や土地に恵まれない場所で野菜や果物を育てられることの可能性、あるいは最終消費地に近い場所で作物を育てることで二酸化炭素排出量が削減できる可能性は、非常に魅力的である。

ノランダは国土が狭く耕作可能な土地が限られているにも拘わらず、24,000エーカーにも及ぶ温室で作物栽培をしていることによって、世界有数の農産物輸出国となっている⁹⁰。1

エーカーの温室で屋外10エーカー分のレタスを収穫できるオラクダは、自然光を利用した室内栽培において、効率性と革新性を極めて⁹¹。

しかし、温室は広大な屋内空間を暖めたり冷やしたりするコストがかかるため、エネルギーを大量に消費する可能性がある。また、太陽の代わりに人工光を使う垂直農法では、さらに多くのエネルギーが必要となり、温室のような大規模な運営は困難である。エネルギー価格が高騰した場合、屋内農業の経済効率性が魅力的でなくなり、一部の生産者が操業を完全に停止する可能性さえある⁹²。これは、食料の価格と入手のしやすさの両面において、好ましくない変動要因となり得る⁹³。

投資への影響

農業と食料生産の進化は、様々な投資機会を生み出している。一部の技術革新は既に大規模に活用されており、伝統的な債券や株式の魅力的な投資機会に繋がる可能性がある。また、初期段階にある技術を、スタートアップ企業がコスト、市場占有、規模拡大を巡る課題を克服することで、ベンチャーキャピタルのポートフォリオに最適な機会が生まれる可能性もある。投資家にとっては、変化し続ける農業と食料生産の見通しを考える上で、特に重要なテーマが6つあると考えられる。

1. アグテックは、小規模農家におけるスマートで持続可能な食料生産を促す

小規模農家の効率性、収益性、持続可能性の向上には、多くの場合、スマートデバイス、センサー、データ分析、独自のアルゴリズムなどの技術が関わっている。投資家にとって、アグテックの領域は非常に細分化されており、テクノロジーを農業に応用する多様な方法を多くのスタートアップ企業が見出していることから、魅力的なベンチャーキャピタルの投資機会が生じる可能性がある。

新興国では、依然として小規模農家が主流となっており、例えばインドでは80%以上の農家が1ヘクタール以下の土地で農業を営んでいる⁹⁴。このような小規模農家の生産性を高める方法を見つけることは、インドの将来的な食料需要を満たし、食料自給率を高めるために不可欠である。インドのスタートアップ企業であるGramophoneは、小規模農家を支援するインテリジェント農業の一例である。同社のサービスには携帯電話からアクセスすることができ、2百万以上の農家が利用している。種子の選択から使用する栄養素の最適化、収穫の管理、さらには作物の販売まで、作物のライフサイクル全体にわたって農家を支援するための、地域毎にカスタマイズされたサービスを提供している⁹⁵。

水管理も、投資機会が生まれる可能性がある分野である。水不足が農作物に悪影響を及ぼしていることに加え、これによる被害は今後さらに拡大すると予想される中、よりスマートな灌漑（かんがい）システムが急速に発展しており、ますます不可欠なものとなっている。移動式の灌漑システムは、中小規模の農家における水利用を最適化する一例である。米国のスタートアップ企業CODA Farm Technologiesは、

作物の保護、廃棄物の削減、そして水使用量の最小化を実現する移動式の灌漑システムを提供している。同様に、イスラエルのアグテック分野のスタートアップ企業であるSaturasは、精密な灌漑のために強化されたセンサーを駆使したシステムを開発した。このシステムでは、樹幹にセンサーを埋め込むことで、アプリを通じて継続的かつ正確なリアルタイムのデータ収集が可能となっている。

培養肉もしくは培養魚肉が、従来の飼育肉に対抗するためには、コスト競争力が求められる。これは、現在の生産工程におけるエネルギー消費と生産規模の拡大が非常に困難であることを考えると、大きな課題である。

2. 農地に関連した投資は、魅力的な投資機会を提供し得る

農地に関連する貸付と投資は、長期的な視点に立った投資家にとって、世界の食料システム全体の生産性向上を通して、従来型の投資とは異なる投資機会を提供し得る。ベンチマークが確立された成熟した資産クラスとして、機関投資家による農地所有は増加傾向にあるものの、機関投資家による所有は米国の農地の約3%に過ぎず、まだ初期段階にある⁹⁶。

耕作可能な土地が不足していることは十分に認識されているが、農地からの長期的な収入と資産価値の上昇は見過ごされがちであり、農地に関連するデットやエクイティに、様々なリスク・リターン特性を持った投資機会がある。例えば、農場の直接経営やリースは、投資家に安定した収入源を提供することができる一方、精密農業の利用による生産性の向上によって、農地の資産価値も上昇する⁹⁷。

農地に関連する投資は、「連作作物」と「永年作物」の2つに大別される。トウモロコシ、大豆、米、綿花などの連作作物は、機械的に植え付けられ、毎年収穫されるため、歴史的に見てもリスクが低く、比較的安定した収入が得られる。

一方、木の実や果物のような永年作物は、市場の状況に応じて切り替えることが難しいことから営業利益への依存度が高く、異なるリスク・リターン特性を有している。

永年作物への投資を検討する投資家は、ブドウ、柑橘類、ナッツなどの高価な永年作物に最適な、冬は温暖で雨が多く、夏は暑く乾燥した地中海性気候のような環境下にある希少な農地に注目すべきである。カリフォルニア州は、チリ、南アフリカ、南オーストラリアの一部と同様に、このような気候を持つ地域の一つである。とりわけ、カリフォルニア州は、主要な商品取引所への近さ、農業セクターに資金を供給する民間および政府系金融機関が充実していること、戦略的に配置された高速道路、鉄道、港による高度な交通網などの特徴を背景に、特に魅力的な投資機会を提供し得る。

農地からの長期的な収入と
資産価値の上昇は見過ごされ
がちであり、様々なリスク・リターン
特性を持った投資機会を提供し
得る。

3. 作物科学と飼料添加物は、生産性と持続可能性を高めるイノベーションをもたらす

欧州が拠点のBayerやBASF、北米に拠点を置くNutrien、FMC、Cortevaなど、作物科学における世界的リーダーは、持続可能性と生産性を高めるための現実的で拡張性の高いソリューションを提供している。こうした企業は多様なグローバルビジネスを展開しており、製品に対しても安定した需要があり、様々な地域や条件に合わせてカスタマイズされた作物科学に取り組むための規模と専門知識を有している。また、インドにおける投資対象としては、PI IndustriesやDhanuka Agritechのような現地のリーディング・カンパニーに注目すべきである。これらの企業は現地に精通し、全国に強力な流通網を持っている。

畜産の生産性向上や温室効果ガスの排出削減は、

持続可能な食料システムにとって極めて重要である。投資家はこれらの領域でも魅力的な機会を見つけることができるだろう。米国のZoetisやElanco、オランダのRoyal DSMなどの動物用医薬品会社は、農家が畜産の生産性向上と温室効果ガスの排出削減という二つの目標を達成できる製品を提供している。牛や豚の飼料における添加物は、アミノ酸のバランスを高めて飼料の効率を15%向上させ、畜産の生産性を向上させることができる^{98, 99}。別の添加物は、メタン生成の原因となる酵素を抑制することにより、乳牛の腸内メタンの排出量を35%、肉牛については80%も削減可能である¹⁰⁰。どちらの種類の添加物も既に商品化されており、しばらく使用される可能性が高い。こうした製品に対する安定した需要と企業規模は、債券投資家が魅力を感じる安定したキャッシュフローにつながり得る。

4. 精密農業による大規模農場の効率化

精密農業は、2030年までに市場規模が4倍になると予想されており、投資家に十分な成長機会を提供している¹⁰¹。精密農業は、特に大規模な工業型農場に有効であり、投資家はこの分野でデットやエクイティの投資機会を見出すことができる。精密農業を通じた農業の自動化は、農場の労働力確保に対する懸念を緩和することもできる。

今日の農業機械は、20年前から大きく様変わりしている。GPSを搭載した農機は、ほぼ自律的に動くことができ、様々なセンサーや機械学習によって特定の畑の状態に合わせて複数の作業を実行する。また、肥料などの投入をより正確に行うことができるため使用量を60%も削減することが可能であり、環境への影響を最小限に抑えることができる¹⁰²。例えば、トラクターに搭載されたカメラや噴霧器は、AIを活用して雑草と作物を識別し、必要な場所のみ除草剤を散布することができる¹⁰³。

欧州のCNH、日本のクボタ、米国のJohn DeereとAGCOといった一握りのグローバル企業が、大規模農場に自律走行の植え込み機、噴霧機、その他の機械を供給している。これら企業の新規販売に占めるスマート農機の割合が増加する中、商品サイクルにおけるキャッシュフローを平準化させる目的で、継続的な収益源となる有料のソフトウェア更新サービスの提供を開始している。

現在のところ、自律走行型農機の主要市場は米国であるものの、ブラジルおよびアルゼンチンの農場も近代化が進んでおり、中南米も巨大な成長市場となっている¹⁰⁴。多くの農場が乗り遅れないように近代化を進めようとしているため、今後こうしたテクノロジーが浸透する余地は大きい。

Hydrosatは、精密農業に欠かせない水分のモニタリングを強化しているスタートアップ企業である。同社のサービスは、現在、北米と中南米の工業型農場で利用されており、一般に公開されている画像よりも高頻度で、高画質の赤外線衛星画像を提供している。この高頻度データを確認することで、実際に状況が急変する数週間前に、水分や水ストレスを特定することができる。

畜産の生産性向上や温室効果ガスの排出削減は、持続可能な食料システムにとって極めて重要である。

5. 作物の収穫量を維持、向上させるためには、今後も肥料が欠かせない

環境外部性を考慮すると、肥料産業はESGの観点から問題となる可能性がある。窒素系肥料が一部の地域で過剰に使用されており、これが環境に悪影響を与えている可能性があることは疑いの余地がない。しかし、ESGを重視する投資家は、これらに関連する企業との対話を真剣に検討すべきである。なぜなら、食料需要が増加する中で供給が追いつかないことが見込まれる中、窒素系肥料は他の手段によって簡単に代替されるようなものではなく、当面は食料生産に不可欠なものであり続けると考えられるからである¹⁰⁵。

南アジアやサハラ砂漠以南のアフリカでは、窒素系肥料や作物保護剤が十分には使用されていないため、それらの使用が作物の収穫量に大きな影響を与える可能性がある。実際、これらの地域で人口が増加し、気候変動が収穫量に悪影響を及ぼすとしても、窒素系肥料と作物保護剤の利用が進めば、食料安全保障と自給率が向上する可能性がある。

特に債券の投資家にとって、このセクターには様々な利点がある。まず、窒素肥料は毎年必要とされ、安定した需要がある。また、規模の経済と高い資本コストが参入障壁となり競争が制限されるため、同業界では大手が圧倒的な地位を築いている。また、原料価格の高騰を受け、窒素、天然ガス、石炭、リン酸塩、炭酸カリウムなどの重要な原料を安定的に調達することの重要性が浮き彫りになっている。比較的安価に天然ガスや炭酸カリウムを調達できる北米のCF IndustriesやNutrien、世界最大の埋蔵量を誇るリン鉱石の鉱脈を利用できるモロッコのOCPなど、重要な原料を確実に入手できる企業は、原料価格が上昇する局面において特に有利な立場にあると言える¹⁰⁶。

6. 培養肉：投資家にとっては、ステーキより購買意欲を掻き立てられる

培養肉はメディアの注目を集め、ベンチャーキャピタルから10億米ドル以上の資金を調達しているが、投資家にとって同業界は依然として未成熟な段階にある。市販化されている培養肉は限定的で、シンガポールだけが培養鶏肉を使ったチキンナゲットの小売販売を承認している¹⁰⁷。培養肉を巡っては100社以上のスタートアップ企業が存在しており、市場は非常に細分化されている。また、どの企業が勝者として残るのかも不透明である¹⁰⁸。

どの企業も、従来の肉や魚の味とコストに匹敵する培養肉の製造、および生産規模の拡大において似たような課題に直面している。全てのスタートアップ企業に資金を提供し続けることは効率的でないため、今後数年のうちに市場は大きく再編される可能性がある。

味も食感もコストも遜色ない培養肉を使ったリブアイステーキの実現はまだ先だが、ベンチャーキャピタルの投資家は、より早期の商業的な実用化が見込まれている細胞農業の中でも、あまり知られていない側面に焦点を当てるべきである。より単純な形態のタンパク質は、効率的に大量生産される段階に近づきつつあり、消費者がこれを受け入れるかどうかは不透明な一方で、これに先立って食品製造会社が使用を開始する可能性がある。投資の観点では、商業利用が可能な単純な形態のタンパク質に焦点を当てたスタートアップ企業は魅力的であるといえるかもしれない。

例えば、Onego BioとEVERY Companyは、ケーキなどの焼き菓子のつなぎとして広く使われている卵タンパク質（卵白）の発酵生産に焦点を当てたスタートアップ企業である。イスラエルのスタートアップ企業であるRemilkは、

乳タンパク質のホエーとカゼインを生産しているが、食品大手General Millsと提携し、ラクトースを含まない非動物性クリームチーズを生産している¹⁰⁹。

実験室で培養されたステーキの実現はまだ先だが、商業利用が可能な単純な形態のタンパク質を生産するスタートアップ企業は注目されるべきである。

第1章と第2章では、広範な食料システムの需要と供給におけるダイナミクスの変化と、それに伴う投資機会とリスクを分析した。しかし、食料システムの進化は、投資ポートフォリオ全体にも影響を及ぼす。第3章では、こうした投資ポートフォリオ全体にわたる影響に目を向け、投資責任者がどのような行動をすべきかについて考察する。

第3章

ポートフォリオ横断的に 影響を及ぼし得る要因 について考察する



食品価格の高騰、持続可能性、食品に関するサプライチェーンの混乱は、いずれもマクロ経済に大きな影響を及ぼす。”

1

2

3

03

第3章

ポートフォリオ横断的に影響を及ぼし得る要因について考察する

食品価格の高騰、持続可能性、食品に関するサプライチェーンの混乱は、これまでに述べた特定の資産クラスを超えて、ポートフォリオ横断的な懸念点である。本章では、グローバルな食料システムを巡る投資環境が変化する中、投資家が認識しておくべき、ポートフォリオ横断的に影響を及ぼす可能性のある3つの要因について考察する。

1. 食品に関するサプライチェーンの混乱により、地政学およびマクロ経済の脆弱性が顕在化する可能性がある

グローバルな食料システムは国際貿易に依存しており、特に主要な農作物や食材が特定の国からの輸出品に偏っていることを踏まえると、食品に関するサプライチェーンに問題が生じることで大きな混乱がもたらされる可能性がある。(図表8)。

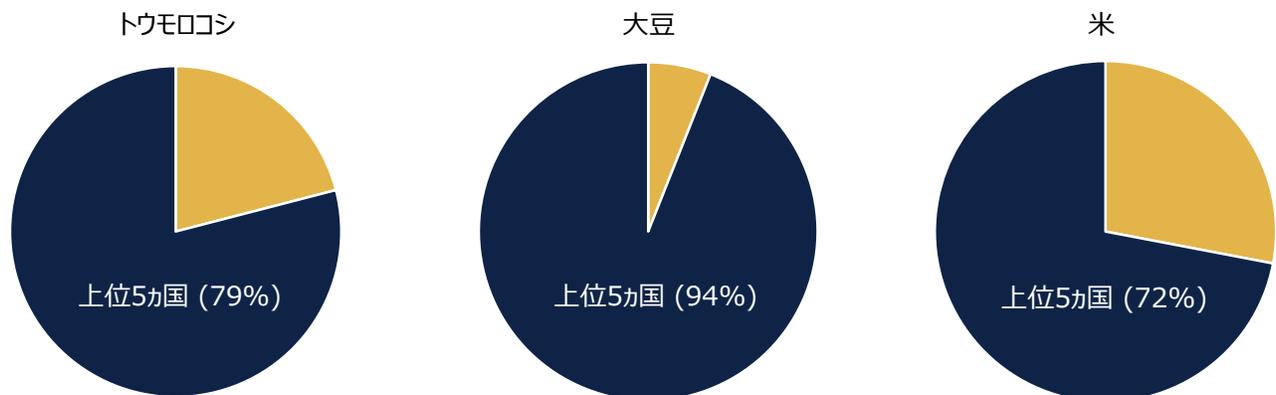
ロシアのウクライナ侵攻は人道的な悲劇をもたらすだけでなく、重要な農作物や食材を巡るグローバルな食料システムが一部の国や地域に大きく依存しているという状況が改めて浮き彫りになった。

ロシアとウクライナを合わせた小麦輸出が世界貿易に占める

割合は30%近くに達しており、両国からの定期的な小麦輸出が途絶えたことにより世界的に小麦価格が高騰した¹¹⁰。また、ロシア・ウクライナ紛争は、トウモロコシや肥料のグローバルな流通にも影響を及ぼしこれらの価格も同様に高騰した^{111、112}。

実際、ロシア・ウクライナ紛争によって、食料システム全体にわたる幾つかの脆弱性が明らかになった。例えば、特定の地域に端を発した混乱が多くの地域や国に波及して世界的な食品価格の高騰を引き起こし、これが更なる食品輸出の制限につながった¹¹³。今後、各国のカントリーリスクを評価する際には、食品価格の高騰および輸入品への依存という観点に基づいた食料安全保障の脆弱性についても検証される必要性が高まるだろう。

図表8：穀物輸出は特定の国に大きく依存している
主要穀物の世界輸出に占める上位5カ国の割合（2020年）



出所：国際連合食糧農業機関

投資家にとって、ロシア・ウクライナ紛争から得られる教訓は2つある。第一に、今後は食料品の供給とこれに関するサプライチェーンの混乱が、より頻繁に広範囲にわたって発生する可能性が高いということだ。先進国にも、食料不足や食品価格の高騰という面で影響が及ぶ¹¹⁴。例えば、米国の農家では家畜がウイルスに集団感染し、これにより卵の価格が70%上昇した¹¹⁵。また、地政学的緊張の高まり、反グローバル化の動き、世界貿易の低迷によっても、将来的に食料品の供給とこれに関するサプライチェーンの混乱が生じる可能性がある¹¹⁶。世界の二極化が進む中、食品輸出が外交上の「武器」として利用されるリスクが高まっている。

第二に、特にフロンティア市場や新興国において、食品価格の高騰によって社会的、政治的な不安がもたらされる可能性があることを投資家は認識する必要がある。例えば、2010年と2011年に起こった民主運動である「アラブの春」では、干ばつによる食品価格の高騰がその重要な背景となっており、これにより複数の国で政権が交代した¹¹⁷。ナイジェリア、エジプト、カザフスタン、フィリピンなど、個人消費の3分の1以上を食料品支出が占める国は、この点において最も脆弱だと言える¹¹⁸。現在のソブリン格付がこうした食品価格の高騰やそれに伴う政治リスクを十分に織り込んでいるとは言いがたく、投資家は各国のカントリーリスクを再検証すべきかも知れない。

世界の二極化が進む中、食品輸出が外交上の「武器」として利用されるリスクが高まっている。

2. 食料システムは、ESGを重視する投資家に固有のプレッシャーと機会をもたらす

広範かつ人間にとって不可欠な食料システムにESGの観点当てはめることは容易ではない。ある意味において、今日の食料システムは10年前のエネルギー・セクターと状況が似ている。

食料システムは人間の生活に不可欠な必需品を提供しているが、そこにはESGを巡る固有のプレッシャーと機会が内在しており、情報に基づいて難しい判断を下すだけの多くの詳細データが存在していない。

とはいえ、食料システムが気候や生物多様性と相互関係にあることを踏まえると、ESGを重視する投資家にとって同領域はより重要なものとなってきている。脱炭素と持続可能性にコミットしている投資家の間では、これらの目標を達成するために広範な食料システムが果たす役割は大きいとの認識が高まっている。そして、ESGを重視する投資家が食料システムに投資することによって、社会に測定可能な影響を及ぼす可能性が生じる。

そもそもESGを巡る問題は複雑ではあるが、現在の食料システムに目を向けると幾つかの矛盾が明らかになる。その一例として、合成肥料の使用が挙げられる。サハラ砂漠以南のアフリカなど、十分に肥料を使用していない地域での肥料の活用は、小規模農家であっても収穫量を増加させることができる最もシンプルかつ効果的な方法であり、飢餓および栄養不足の撲滅に大きく貢献できる。さらに、今のところ現実的に窒素系肥料の代替となる肥料は存在していない。

しかし、肥料に使われる工業用アンモニアの生産は、様々な形で環境にダメージを与える可能性がある。まず、工業用アンモニアの製造工程では非常に多くのエネルギーが消費され、他の化学物質の製造よりも多くの二酸化炭素が排出される¹¹⁹。加えて、散布された肥料の一部が飲料水や水路に流出する可能性もある¹²⁰。さらに、人間によって排出される二酸化窒素の大部分は、こうした肥料によって占められている¹²¹。

それでは、ESGを重視する投資家は、このような矛盾をどのように考えるべきだろうか。さらに重要なことは、何をすべきかということである。

全てのセクターに対してエンゲージメントを実施する：ESGを重視する投資家は、食料システムに関して完璧な解決策はないことを理解する必要がある。それどころか、不完全な選択肢や代替手段が多く存在している。グローバルな食料需要を満たすことの重要性を考えると、例えば単純に二酸化炭素の排出量のみに基づいて、食料システムにおける一部のセクターを投資対象外とすることは効果的でないと考えられる。むしろ、ESGの重要課題に取り組んでいる企業や業界全体の動きに焦点を当てたりサーチがより効果的であろう。例えば、肥料メーカーが二酸化炭素排出量を削減するためにどのような取り組みをしているか、各メーカーによる取り組みの同業他社との比較について理解することが有効な出発点となり得る。

さらに、スチュワードシップを積極的に活用して企業と外部の専門家や業界団体との連携をサポートし、最善の対応策の活用を促すことも、投資家にとっては建設的なアプローチとなり得る。

革新的ながらも実行力のある企業を見出す：明らかに完璧だと思われる選択肢（例えば、化学肥料と同程度の効果と効率性を持つバイオ肥料など）が実現するまでには相応の時間が必要とされる中、投資家は現在の食料需要とその対応策を巡る限界について認識しつつ、より優れた持続可能な食料システムに早期に移行できるよう行動する必要がある。例えば、二酸化炭素の排出量を削減するために適切な措置を講じている最も先進的な肥料メーカーの特定や、バイオ肥料の製造に取り組んでいる新興企業への投資がこれに含まれる。また、各企業の戦略を調査し、研究費がどのように使われているかを詳細に確認することで、注力するビジネス領域を理解することができる。さらに、二酸化炭素排出量に関する目標を設定している企業については、その目標がどの程度現実的か、進捗状況、目標達成は現在の技術に依存しているのか、それとも将来の技術に依存するののかについて調査することにより、業界を牽引する企業となるか、あるいは後塵を拝する企業となるか見極めることが出来るだろう。

データ不足を改善するための取り組み：投資家は、情報に基づいたトレードオフの判断を行い、最も革新的な企業を特定するために、質の高い情報とデータにアクセスする必要がある。このため、投資家は食料システムに関わる企業に対して、より多くの情報開示と定期的な情報提供を求める必要がある。しかし、データの透明性を高めるためには追加的なコストが発生し、特に小規模な企業や農家にとって負担となる可能性がある。こうした中、投資家による集団的な情報開示

請求が、他のセクターや業界の情報開示の改善につながるケースも出ている¹²²。

例えば、畜産関連の投資家ネットワークである「FAIRRイニシアティブ」は、食品生産に関連する様々なESGリスクに関するデータ提供で効果を上げており、動物性タンパク質の製造に関する研究結果の発表、これに関連するツールや指標の提供などを行っている¹²³。情報開示の拡充を求める投資家にとって、こうした取り組みへの参画が効果的な一歩となる可能性がある。

依然として深刻な21世紀の課題により、世界の食料システムは大きく変わろうとしている。

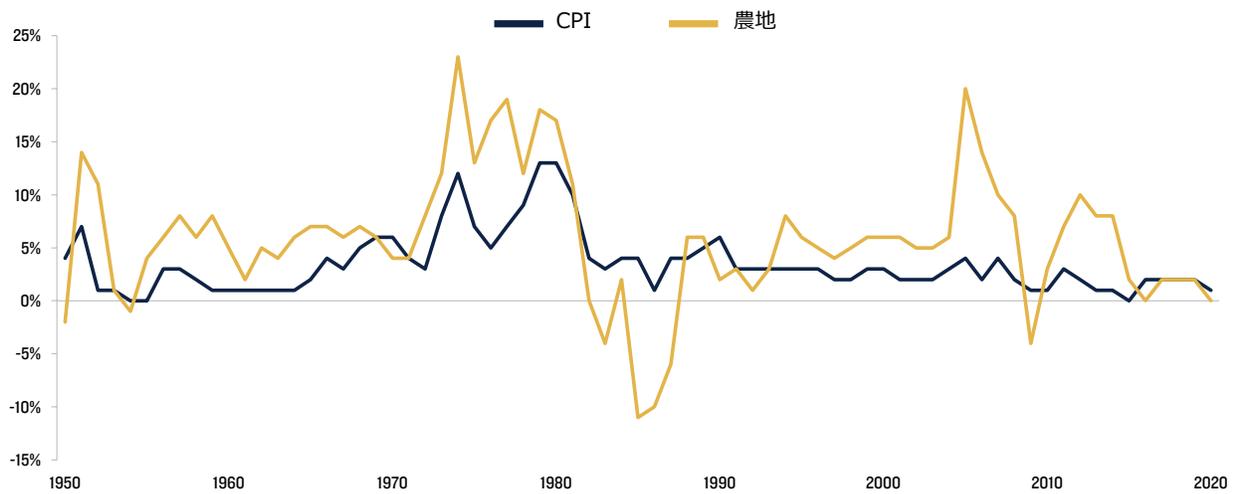
2. 農地投資は、機関投資家のポートフォリオに分散効果とインフレ・ヘッジ効果をもたらす得る

機関投資家にとって、農地投資は成熟途上の資産クラスであり、ポートフォリオや流動性最適化のフレームワークに組み入れることに難しさを感じるかも知れない。しかし、農地が有する2つの重要かつ固有の特徴を考慮すると、投資責任者は農地投資に注目すべきである。

1つ目の特徴として、農地投資によって得られるリターンは、他の主要な資産クラスと相関関係が低いことが挙げられる。過去20年間、米国における農地投資によって得られるリターンは、株式および債券のいずれとも負の相関があった¹²⁴。2つ目の特徴は、インフレ・ヘッジ効果が高い傾向にあったことである（図表9）。実物資産である米国の農地は、高インフレや市場の不確実性が高まるような局面においても、有効な資産形成手段となり得る。



図表9：農地への投資は有効なインフレ・ヘッジになり得る
米国の農地価格と米国CPIとの比較（対前年比 %）



出所：USDA経済研究センター、米国連邦準備制度理事会

結論

1960年代における「緑の革命」による技術革新以降、食料システムは驚異的な進化を遂げてきた。しかし、食料システムは依然として脆弱であり、引き続き多くの課題に直面している。人口増加や生活水準の向上に伴う需要の変化に対応するために、食料システムはより生産的かつより持続可能なものとなる必要がある。投資機会を模索するにしても、隠れたリスクの軽減に努めるにしても、世界中の機関投資家にとって急速に変化するグローバルな食料システムを理解することは不可欠なものとなっている。

食料需要に関する投資への影響、期待される投資機会

1. 従来型の食肉産業には逆張りの投資機会が存在する可能性がある	<ul style="list-style-type: none">・ 裕福層の増加と世界的な食生活の同質化によって、食肉メーカーにはビジネスの機会がもたらされる・ ESGを重視する投資家は、従来型の食肉メーカーに対する積極的なエンゲージメントの実施を検討すべきである
2. 冷蔵倉庫と輸送が世界的な成長機会をもたらす	<ul style="list-style-type: none">・ 都心や交通の要所へのアクセスや輸送のし易さが鍵・ 米国、東南アジア、中南米における冷蔵輸送サービスの提供者、および冷蔵輸送関連の不動産物件に魅力的な投資機会
3. パッケージ関連ビジネスは、食の流行に左右されにくく、安定したキャッシュフローを生み出す得る	<ul style="list-style-type: none">・ 食の流行に関わらず、新たなパッケージ技術と食品機械に依存したイノベーションが生まれている・ 欧米の大手食品パッケージ会社および食品機器メーカーへの投資機会
4. 健康重視の嗜好が食品流通と食品のイノベーションを促す	<ul style="list-style-type: none">・ 消費者はより健康的な食品を求めており、そのためなら支出を厭わないと考える可能性がある・ 消費者の嗜好の変化ではなく、価格と味の両方の魅力を追求しようとしている企業が注目に値すると考えられる
5. 食における利便性と安全性へのニーズが、新興国での機会を促進する	<ul style="list-style-type: none">・ 新興国における食品の安全性に対する懸念から、認知度の高いブランドやパッケージ食品への需要が高まっている・ インドや中南米における現地の焼き菓子メーカーや飲料メーカーへの投資機会

食料供給に関する投資への影響、期待される投資機会

1. アグテックは、小規模農家におけるスマートで持続可能な食料生産を促す	<ul style="list-style-type: none">・ 小規模農場の生産性を向上させる方法を見つけることが、将来的な食料需要を満たすために非常に重要・ アグテックの領域は多くの新興企業によって細分化されており、魅力的なベンチャーキャピタルの投資機会が提供されている
2. 農地に関連した投資は、魅力的な投資機会を提供し得る	<ul style="list-style-type: none">・ 農地に関連するデットやエクイティの投資家に様々なリスク・リターン特性を持った投資機会を提供・ カリフォルニア州は、農作物栽培に最適な気候に加え、主要な商品取引所、港、高速道路などへの近接性を背景に、特に魅力的な投資機会を提供
3. 作物科学と飼料添加物は生産性と持続可能性を高めるイノベーションをもたらす	<ul style="list-style-type: none">・ アジアにおける現地のリーディング・カンパニーは、現地の専門知識と確立された流通網を持っている・ 欧米のリーディング・カンパニーは現実的な商品を提供しており、多様なビジネスと会社規模を有している
4. 精密農業による大規模農場の効率化	<ul style="list-style-type: none">・ 世界的な大手農機メーカーと、テクノロジー関連のスタートアップ企業の両方に投資機会がある・ ブラジルおよびアルゼンチンの農場も近代化が進んでおり、中南米にも成長の機会がある
5. 作物の収穫量を維持、向上させるためには、今後も肥料が欠かせない	<ul style="list-style-type: none">・ 一部の肥料は毎年必要とされ、簡単には代替することができない安定した需要がある・ ESGを重視する投資家は、肥料が当面は食料生産に不可欠なものであり続けると考えられることから、関連企業との対話を真剣に検討すべきである
6. 培養肉：投資家にとっては、ステーキより購買意欲を掻き立てられる	<ul style="list-style-type: none">・ 培養肉市場は非常に細分化されており、非常に競争が厳しく不確実性も高い・ 商業的な実用化が期待できる単純な形態のタンパク質（乳清や卵白など）の生産に焦点を当てるべき

ポートフォリオ横断的な投資への影響

1. 食品に関するサプライチェーンの混乱により、地政学およびマクロ経済の脆弱性が顕在化する可能性がある	<ul style="list-style-type: none">・ 今後は、より頻繁かつ広範囲にサプライチェーンの混乱が発生する可能性がある・ 特に新興国やフロンティア市場において、食品価格の高騰によって社会的、政治的な不安がもたらされる可能性がある
2. 食料システムは、ESGを重視する投資家に固有の圧力と機会をもたらす	<ul style="list-style-type: none">・ 食料システムが抱える問題に対する完璧な解決策はない・ 多くの企業に対してエンゲージメントを実施し、集団的な情報開示請求に加え、積極的な調査を重視するアプローチ方法が効果的
3. 農地投資は、機関投資家のポートフォリオに分散効果とインフレ・ヘッジ効果をもたらす得る	<ul style="list-style-type: none">・ 農地投資によって、株式および債券のいずれとも負の相関があるリターン獲得機会が提供される・ 農地は、信頼できるインフレ・ヘッジ手段となり得ることが証明されている

本稿の執筆協力者



本稿を執筆するに当たり、多大なる支援をいただいた方々

Prof. Christopher Barrett, Stephen B. and Janice G. Ashley
Professor of Applied Economics and Management, Cornell University

Noah Bishop, Vice President, Warburg Pincus

Brett Brohl, Managing Director, Techstars

Anthony Chow, Co-Founder, Agronomics

Lisa Feria, Managing Partner & CEO, Stray Dog Capital

Pieter Fossel, CEO & Co-Founder, Hydrosat

Tim O'Rourke, Senior Managing Director, JLL

Michael Pan, Managing Director, Warburg Pincus

Dr. Caterina Ruggeri Laderchi, Director, Food System Economics Commission

Ethan Steinberg, CEO, Propagate

Ryan Wilson, CEO, Boardwalk Collective

PGIM グループの執筆・情報提供者

Anandhapadmanabhan Anjeneyan, PGIM India

Henry Balbirer, PGIM Fixed Income

Alyssa Braun, PGIM Fixed Income

Tony Coletta, PGIM Private Capital

Armelle de Vienne, PGIM Fixed Income

Nuvneet Dhillon, PGIM Fixed Income

Lauren Dombrowski, PGIM Fixed Income

Omari Douglas-Hall, PGIM Fixed Income

William Engelking, PGIM Private Capital

Sebastiano Ferrante, PGIM Real Estate

Elitza Fleischman, PGIM Fixed Income

Sean Goodier, PGIM Fixed Income

Liz Halpin, PGIM Fixed Income

Bruce Hamilton, PGIM Fixed Income

Dr. Peter Hayes, PGIM Real Estate

Alex Herbert, PGIM Fixed Income

Nikola Ivanov, PGIM Fixed Income

Eugenia Jackson, PGIM

Jess Jarratt, PGIM Real Estate

David Klausner, PGIM Fixed Income

Richard Kus, PGIM Fixed Income

Umar Manzoor, PGIM Fixed Income

Anna McDonald, PGIM

Bryan McDonnell, PGIM Real Estate

Dr. Katharine Neiss, PGIM Fixed Income

Benjamin Novick, PGIM Fixed Income

Steven Oliveira, PGIM Real Estate

Michael Pettit, PGIM Fixed Income

John Ploeg, PGIM Fixed Income

David Quackenbush, PGIM Private Capital

Srinivas Rao, PGIM India

Vivek Sharma, PGIM India

Jamie Shen, PGIM Real Estate

Daleep Singh, PGIM Fixed Income

John Smigelsky, PGIM Fixed Income

Robin Snyder, PGIM Fixed Income

Daniel Solinsky, PGIM Fixed Income

Tatiana Spineanu, PGIM Fixed Income

Scott Swanson, PGIM Fixed Income

Reuben Teague, PGIM Real Estate

Benett Theseira, PGIM Real Estate

Dr. Noah Weisberger, PGIM IAS

主筆

Shehriyar Antia, PGIM Thematic Research

Dr. Taimur Hyat, PGIM

Jakob Wilhelmus, PGIM Thematic Research

出典

- 1 “New Nature Economy Report Series,” World Economic Forum, July 2020. < <https://www.weforum.org/reports/new-nature-economy-report-series> >
- 2 “Agricultural Policy Monitoring and Evaluation,” OECD, June 2022. < <https://doi.org/10.1787/7f4542bf-en> >
- 3 “The State of Food Security and Nutrition in the World 2022,” Food and Agriculture Organization of the United Nations, June 2022. < <https://www.fao.org/3/cc0639en/cc0639en.pdf> >
- 4 Ibid
- 5 “Obesity and Overweight,” World Health Organization, June 9, 2021. < <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> >
- 6 “Statistical Pocketbook: World Food and Agriculture,” Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. < <https://doi.org/10.4060/cc2212en> >
- 7 “The State of Food Security and Nutrition in the World 2021,” Food and Agriculture Organization of the United Nations. < <https://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/2021/en/> >
- 8 Foster, Andrew and Rosenzweig, Mark, “Are there too many farms in the world? Labor-market transaction costs, machine capacities and optimal farm size,” Working Paper Series, NBER, March 2021. < <http://www.nber.org/papers/w23909> >
- 9 Liu, Xingcai, et al, “Global Agricultural Water Scarcity Assessment Incorporating Blue and Green Water Availability Under Future Climate Change,” AGU, April 23, 2022. < <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2021EF002567> >
- 10 Wing, Ian Sue, et al, “Global Vulnerability of Crop Yields to Climate Change,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Volume 109, September 2021. < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0095069621000450> >
- 11 “Greenhouse Gas Reduction,” International Atomic Energy Agency. < <https://www.iaea.org/topics/greenhouse-gas-reduction> >
- 12 “Driven to Waste: The Global Impact of Food Loss and Waste on Farms,” World Wildlife Fund, Aug. 19, 2021. < <https://www.world-wildlife.org/publications/driven-to-waste-the-global-impact-of-food-loss-and-waste-on-farms> >
- 13 “Water for Sustainable Food and Agriculture,” Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.
- 14 Treisman, Rachel, “China Is Buying Up More US Farmland. Some Lawmakers Consider that a Security Threat,” NPR, March 1, 2023. < <https://www.npr.org/2023/03/01/1160297853/china-farmland-purchases-house-hearing-competition> >
- 15 Chiba, Daishi, et al, “Chinese Companies Corraling Land Around World,” *Nikkei Asia*, July 13, 2021. < <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Datawatch/Chinese-companies-corralling-land-around-world> >
- 16 “Engel’s Law Is Still Good Food for Thought,” The FRED Blog, accessed March 21, 2023. < <https://www.fao.org/3/i7959e/i7959e.pdf> >
- 17 Fukase, Emiko, and Martin, Will, “Economic Growth, Convergence, and World Food Demand and Supply,” World Bank, November 2017. < <https://documents1.worldbank.org/curated/en/519861511794565022/pdf/WPS8257.pdf> >
- 18 “Feed-to-Meat Conversion Inefficiency Ratios,” A Well-Fed World, accessed March 21, 2023. < <https://awellfedworld.org/feed-ratios/> >
- 19 Food and Agriculture Organization of the United States, Statistical Database, accessed March 14, 2023.
- 20 Khoury, Colin K., et al, “Increasing Homogeneity in Global Food Supplies and the Implications for Food Security,” PNAS, January 2014. < <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1313490111> >
- 21 Anand, Sonia S., et al, “Food Consumption and Its Impact on Cardiovascular Disease: Importance of Solutions Focused on the Globalized Food System,” National Library of Medicine, April 6, 2016. < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4597475/#R3> >
- 22 “Health Effects of Dietary Risks in 195 Countries, 1990-2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017,” *The Lancet*, April 3, 2019. < [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(19\)30041-8/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(19)30041-8/fulltext) >
- 23 “Cracking the Code on Consumers’ Health-and-Wellness Preferences,” AlixPartners, June 2019. < https://www.alixpartners.com/media/17080/ap_health-and-wellness-flyer_june_2018.pdf >
- 24 “High-Fructose Corn Syrup Production and Prices,” USDA, accessed March 21, 2023. < <https://www.ers.usda.gov/topics/crops/sugar-and-sweeteners/background/#hfcs> >
- 25 “Biden-Harris Administration National Strategy on Hunger, Nutrition, and Health,” The White House, September 2022. < <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/09/White-House-National-Strategy-on-Hunger-Nutrition-and-Health-FINAL.pdf> >

- 26 Ahuja, Kabir, et al, “Ordering In: The Rapid Evolution of Food Delivery,” McKinsey & Company, Sept. 22, 2021 < <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/ordering-in-the-rapid-evolution-of-food-delivery> >
- 27 “The Wealth of Cities,” PGIM Thematic Research, 2016. < http://www3.prudential.com/woc/_resources/media/the-wealth-of-cities.pdf >
- 28 “Prepared Meals Market to Reach USD 248.13 Billion by 2029 | Exhibiting a CAGR of 6.8% by 2022-2029,” Fortune Business Insights, Nov. 17, 2022. < <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/11/17/2558175/0/en/Prepared-Meals-Market-to-Reach-USD-248-13-Billion-by-2029-Exhibiting-a-CAGR-of-6-8-by-2022-2029.html> >
- 29 Simmons, Virginia, et al, “The Next S-Curve of Growth: Online Grocery to 2030,” McKinsey & Company, March 31, 2022. < <https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/the-next-s-curve-of-growth-online-grocery-to-2030> >
- 30 “Demand for Prepared Foods Drives Packaging Innovation,” *Supermarket News*, April 12, 2021. < <https://www.supermarketnews.com/build-better-operation/demand-prepared-foods-drives-packaging-innovation> >
- 31 “Driven to Waste: The Global Impact of Food Loss and Waste on Farms,” World Wildlife Fund, Aug. 19, 2021. < <https://www.world-wildlife.org/publications/driven-to-waste-the-global-impact-of-food-loss-and-waste-on-farms> >
- 32 “Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction,” FAO, 2015. <<https://www.fao.org/3/i4068e/i4068e.pdf>>
- 33 Rezaei, Maryam, and Liu, Bin, “Food Loss and Waste in the Food Supply Chain,” FAO, July 2017. <<https://www.fao.org/3/bt300e/bt300e.pdf>>
- 34 “Global Food Losses and Food Waste,” Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. < <https://www.fao.org/3/mb060e/mb060e00.pdf> >
- 35 Shanker, Deena, et al, “Fake Meat Was Supposed to Save the World. It Became Just Another Fad,” *Bloomberg Businessweek*, Jan. 19, 2023. < <https://www.bloomberg.com/news/features/2023-01-19/beyond-meat-bynd-impossible-foods-burgers-are-just-another-food-fad> >
- 36 Bashi, Zafer, et al, “Alternative Proteins: The Race for Market Share Is On,” McKinsey & Company, Aug. 16, 2019. < <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/alternative-proteins-the-race-for-market-share-is-on> >
- 37 “Meat,” FAO, OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030. < <https://www.fao.org/3/cb5332en/Meat.pdf> >
- 38 Maples, Josh, MSU, “The Cattle Cycle: It Can Be a Long 10 Years,” *Beef Magazine*, Oct. 5, 2022. < <https://www.beefmagazine.com/beef/cattle-cycle-it-can-be-long-10-years> >
- 39 “The Rush to Meet Asia Pacific’s Growing Cold Storage Needs,” JLL Australia, July 2022. < <https://www.jll.com.au/en/trends-and-insights/research/the-rush-to-meet-asia-pacifics-growing-cold-storage-needs> >
- 40 Qian, Mandy, “China Cold Storage Logistics,” Cushman & Wakefield, Sept. 29, 2022. < <https://www.cushmanwakefield.com/en/greater-china/news/2022/09/china-cold-storage-logistics-report-2022> >
- 41 Muramatsu, Yoehi, and Nita, Yuichi, “Japan’s Cold Chains Tap Southeast Asia’s Westernizing Tastes” *Nikkei Asia*, Aug. 18, 2018. < <https://asia.nikkei.com/Business/Business-trends/Japan-s-cold-chains-tap-Southeast-Asia-s-Westernizing-tastes> >
- 42 “Frialsa Cold Storage: 35 Million FT³ of CO₂LD and Counting,” M&M Refrigeration, Oct. 11, 2018. < <https://www.mmrefrigeration.com/frialsa-cold-storage-35-million-ft3-of-co2ld-and-counting/> >
- 43 Feber, David, et al, “Sustainability in Packaging: Inside the Minds of US Consumers,” McKinsey & Company, Oct. 21, 2020. < <https://www.mckinsey.com/industries/paper-forest-products-and-packaging/our-insights/sustainability-in-packaging-in-side-the-minds-of-us-consumers> >
- 44 Dunphy, Siobhán, “Around 80 Percent of the World’s Population Relies on Imported Food,” *European Scientist*, April 28, 2020. < <https://www.europeanscientist.com/en/agriculture/majority-of-the-worlds-population-depends-on-imported-food/> >
- 45 Das, Debadyuti, et al, “Impact of Covid-19 on Changing Consumer Behaviour: Lessons from an Emerging Economy,” Wiley Online Library, Feb. 4, 2022. <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ijcs.12786> >
- 46 “Hy-Vee Partners with Simbe to Provide Enhanced Customer Experience,” Hy-Vee News & Press Releases, Sept. 23, 2021. < <https://www.hy-vee.com/corporate/news-events/news-press-releases/hyvee-partners-with-simbe-to-provide-enhanced-customer-experience/> >
- 47 “Wegmans Joins Forces with DoorDash to Power Wedmans Meals 2GO Delivery, Announces Plans to Roll Out to 40 Stores This Year,” *Cision PR Newswire*, April 29, 2019. < <https://www.prnewswire.com/news-releases/wegmans-joins-forces-with-door-dash-to-power-wegmans-meals-2go-delivery-announces-plans-to-roll-out-to-40-stores-this-year-300839830.html> >
- 48 Tandon, Suneera, “Consumer Goods Firms Step Up Packaged Foods Play as Demand Rises After Covid-19,” *Mint*, Jan. 27, 2023. <<https://www.livemint.com/companies/news/consumer-goods-firms-step-up-packaged-foods-play-as-demand-rises-after-covid19-11673970137038.html> >

- 49 “China’s FMCG Sector Continues to Show Resilience Despite Ongoing Covid Challenges,” Bain & Company, Dec. 8, 2022. < <https://www.bain.com/about/media-center/press-releases/2022/chinas-fmkg-sector-continues-to-show-resilience-despite-ongoing-covid-challenges/#:~:text=Packaged%20food%20alone%20averaged%207.4,and%200.6%25%20increase%20in%20ASP> >
- 50 Roser, Max, Ritchie, Hannah, and Rosado, Pablo, 2013, “Food Supply,” OurWorldInData.org. < <https://ourworldindata.org/food-supply> >
- 51 “2017 The State of Food and Agriculture,” FAO, October 2016. < <https://www.fao.org/3/i6030e/i6030e.pdf>>
- 52 “Green Revolution,” International Encyclopedia of Human Geography, ScienceDirect, July 8, 2009. < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080449104000997>>
- 53 Fawcett-Atkinson, Marc, “‘Better Is Always Possible,’ Canada’s Agriculture Minister Says, But There Is No ‘One Size Fits All’ Solution to Curbing Climate Pollution from Farms.” Canada’s *National Observer*, Jan. 6, 2023. < <https://www.nationalobserver.com/2023/01/06/news/canada-agriculture-minister-no-size-fits-all-farm-emissions>>
- 54 Holden, Nicholas M., et al, “Review of the Sustainability of Food Systems and Transition Using the Internet of Food,” NPJ Science of Food, Oct. 9, 2018, Article No. 18 (2018). < <https://www.nature.com/articles/s41538-018-0027-3#:~:text=Many%20current%20food%20systems%20are,equivalent%20to%20a%20fossil%20resource.> >
- 55 Viglione, Giuliana, “Q&A: What Does the World’s Reliance on Fertilisers Mean for Climate Change?” *CarbonBrief*, Food and Farming, July 11, 2022. < <https://www.carbonbrief.org/qa-what-does-the-worlds-reliance-on-fertilisers-mean-for-climate-change/> >
- 56 Schiffman, Richard, “Why It’s Time to Stop Punishing Our Soils with Fertilizers,” Yale Environment, May 3, 2017. < <https://e360.yale.edu/features/why-its-time-to-stop-punishing-our-soils-with-fertilizers-and-chemicals> >
- 57 Simpkins, Kelsey, “Soil Degradation Costs US Corn Farmers a Half-Billion Dollars Every Year,” *CU Boulder Today*, Jan. 12, 2021. < <https://www.colorado.edu/today/2021/01/12/soil-degradation-costs-us-corn-farmers-half-billion-dollars-every-year> >
- 58 Turner, Jacquelyn, “Grass-Fed Cows Won’t Save the Climate, Report Finds,” *Science.org*, Oct. 2, 2017. < <https://www.science.org/content/article/grass-fed-cows-won-t-save-climate-report-finds>>
- 59 “Global Methane Assessment,” United Nations Environment Programme, 2021. < https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35917/GMA_ES.pdf >
- 60 Reisinger, Andy, et al, “How Necessary and Feasible Are Reductions of Methane Emissions from Livestock to Support Stringent Temperature Goals?” *The Royal Society*, Sept. 27, 2021 < <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0452>>
- 61 “Weathering Climate Change,” PGIM Megatrends, < <https://www.pgim.com/megatrends/climate-change> >
- 62 Parija, Pratik, “Heat to Scorch India’s Wheat Supplies, Adding Food-Shortage Worries to World,” *Bloomberg*, May 1, 2022. < <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-05-02/scorching-heat-in-india-to-deal-new-blow-to-global-wheat-supply> >
- 63 Khabarov, Nikolay, et al, “Global Climate Change Impacts on Crops Expected Within 10 Years,” IIASA, Nov. 1, 2021. < <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-05-02/scorching-heat-in-india-to-deal-new-blow-to-global-wheat-supply>>
- 64 Liu, Xingcai, et al, “Global Agricultural Water Scarcity Assessment Incorporating Blue and Green Water Availability Under Future Climate Change,” *AGU*, April 23, 2022. < <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2021EF002567> >
- 65 Corbet, Sylvie (AP) and Garriga, Nicolas (AP), “European Drought Dries Up Rivers, Kills Fish, Shrivels Crops,” *Bloomberg*, Aug. 12, 2022. < <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-08-12/european-drought-dries-up-rivers-kills-fish-shrivels-crops> >
- 66 Trompiz, Gus, “EU Maize Import Surge Seen Cushioning Impact of Drought-Hit Crop,” *Reuters*, Oct. 20, 2022. < <https://www.reuters.com/world/europe/eu-maize-import-surge-seen-cushioning-impact-drought-hit-crop-2022-10-20/> >
- 67 Sullivan, Justine, “The Intergovernmental Panel on Climate Change: 30 Years Informing Global Climate Action,” IPCC, March 13, 2018. < <https://unfoundation.org/blog/post/intergovernmental-panel-climate-change-30-years-informing-global-climate-action/> >
- 68 Ibid.
- 69 Thornton, Philip, et al, “Impacts of Heat Stress on Global Cattle Production During the 21st Century: A Modelling Study,” *The Lancet*, Volume 6, Issue 3, E192-E201, March 2022. < [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(22\)00002-X/fulltext#seccesstitle10](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(22)00002-X/fulltext#seccesstitle10) >
- 70 Mugwanya, Muziri, et al, “Anthropogenic Temperature Fluctuations and Their Effect on Aquaculture: A Comprehensive Review,” *Science Direct*, Volume 7, Issue 3, May 2022, pp. 223-243. < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468550X21001611> >
- 71 Ibid.

- 72 Free, Christopher M., et al, “Impacts of Historical Warming on Marine Fisheries Production,” *Science*, Vol. 363, No. 6430, March 1, 2019. < <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aau1758>>
- 73 City of Chicago, “Climate Impacts on Agriculture and Food Supply,” USEPA. < <https://climatechange.chicago.gov/climate-impacts/climate-impacts-agriculture-and-food-supply> >
- 74 Skendžić, Sandra, et al, “The Impact of Climate Change on Agricultural Insect Pests,” National NIH Library of Medicine, May 12, 2021 doi: 10.3390/insects12050440. < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8150874/>>
- 75 City of Chicago, “Climate Impacts on Agriculture and Food Supply,” USEPA < <https://climatechange.chicago.gov/climate-impacts/climate-impacts-agriculture-and-food-supply> >
- 76 “Defining, Analyzing and Characterizing Biostimulants,” AAPFCO, Feb. 13, 2019. < https://www.aapfco.org/presentations/2019/biostimulants_TStone_KPitts.pdf >
- 77 Madeiras, Angela, et al, “What Are Biostimulants?,” University of Massachusetts Amherst, October 2019. < <https://ag.umass.edu/greenhouse-floriculture/fact-sheets/what-are-biostimulants> >
- 78 Ryder, Nicole, “Growth of Sustainable Farming Practices Drives the Agricultural Biologicals Market,” Frost & Sullivan, Sept. 22, 2022. < <https://www.frost.com/news/press-releases/growth-of-sustainable-farming-practices-drives-the-agricultural-biologicals-market/> >
- 79 Stobbart, Darren, “Crop Protection Industry Overview 2021,” S&P Global Commodity Insights, April 27, 2022. < <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/ci/research-analysis/crop-protection-industry-overview-2021-market.html> >
- 80 Ferreira, Nelson, et al, “Global Farmer Insights 2022,” McKinsey & Company, 2022. < <https://globalfarmerinsights2022.mckinsey.com/#d05> >
- 81 Nolet, Sarah, “The Challenges & Opportunities for Biologicals in Ag,” AgThentic Blog, July 21, 2021. < <https://blog.agthentic.com/the-challenges-opportunities-for-biologicals-in-ag-7f15359766eb> >
- 82 Davis, Glenn, et al, “Precision Agriculture: An Introduction,” Extension University of Missouri, November 1998. < <https://extension.missouri.edu/publications/wq450> >
- 83 Rundell, Katherine, “5 Challenges for Precision Agriculture to Face,” *AgriTech Tomorrow*, Sept. 28, 2020. < <https://www.agritechtomorrow.com/story/2020/09/5-challenges-for-precision-agriculture-to-face-12399/> >
- 84 Nolet, Sarah, “The Challenges & Opportunities for Biologicals in Ag,” AgThentic Blog, July 21, 2021. < <https://blog.agthentic.com/the-challenges-opportunities-for-biologicals-in-ag-7f15359766eb> >
- 85 “Meat – Worldwide,” Statista, accessed February 2022. < <https://www.statista.com/outlook/cmo/food/meat/worldwide> >
- 86 “Cultivated Meat,” Good Food Institute, < <https://gfi.org/cultivated/> >
- 87 Klein, Jessie, “Lab Meat Has 3 Big Problems. Is It Time for a Pivot?” *GreenBiz*, Feb. 22, 2022. < <https://www.greenbiz.com/article/lab-meat-has-3-big-problems-it-time-pivot> >
- 88 Humbrid, David, “Scale-Up Economics for Cultured Meat,” Wiley Online Library, June 7, 2021. < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bit.27848> >
- 89 Brennan, Tom, et al, “Making Cultivated Meat a \$25 Billion Global Industry by 2030 Presents Opportunities Within and Beyond Today’s Food Industry” McKinsey & Co., June 16, 2021. < <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/cultivated-meat-out-of-the-lab-into-the-frying-pan> >
- 90 Reiley, Laura, “Cutting-Edge Tech Made This Tiny Country a Major Exporter of Food,” *The Washington Post*, Nov. 21, 2022. < https://www.washingtonpost.com/business/interactive/2022/netherlands-agriculture-technology/?tid=usw_passupdatepg >
- 91 “Dutch Greenhouses Have Revolutionized Modern Farming,” Civil Engineer.org, Feb. 6, 2018. < <https://www.thecivilengineer.org/news/dutch-greenhouses-have-revolutionized-modern-farming> >
- 92 Sterling, Toby, “Gas Crisis Hits Dutch Greenhouses,” Reuters, Sept. 8, 2022. < <https://www.reuters.com/world/europe/no-tulips-amsterdam-gas-crisis-hits-dutch-greenhouses-2022-09-07/> >
- 93 Iroanya, Vivian, and Fernandez Cras, Pablo, “Energy Crisis Empties Greenhouses in World’s Top Flower Producer,” Bloomberg, Sept. 2, 2022. < <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-02/energy-crisis-empties-greenhouses-in-world-s-top-flower-producer> >
- 94 “How AgriTech Startup Gramophone Is Helping 2.5 Mn Indian Farmers Improve Crop Yield, Increase Profit,” Inc42 Brand Labs, Nov. 29, 2022. < <https://inc42.com/startups/how-agritech-startup-gramophone-is-helping-2-5-mn-indian-farmers-improve-crop-yield-increase-profit/> >

- 95 Ibid.
- 96 “2017 Census Full Report,” USDA, April 11, 2019. < https://www.nass.usda.gov/Publications/AgCensus/2017/#full_report >
- 97 Parikh, Harsh, “Investing in Agriculture – Wedging the Yield Gap,” PGIM, Sept. 16, 2020.
- 98 Curtis, Aerin, “Zoetis Supplements See FDA Approval for Combined Use,” FeedNavigator, Sept. 11, 2015. < <https://www.feednavigator.com/Article/2015/09/11/Zoetis-supplements-see-FDA-approval-for-combined-use> >
- 99 Carlson, Paige, “The ‘Golden Ticket’ to Cattle Feeding Efficiency? It’s Been Found, FBN and Boveta Suggest,” *Drovers*, Feb. 3, 2023. < <https://www.drovers.com/news/beef-production/golden-ticket-cattle-feeding-efficiency-its-been-found-fbn-and-boveta-suggest> >
- 100 Ostendorf, Madelyn, “Elanco and Royal DSM Partner to Reduce Cattle Methan Emissions,” *Agriculture.com*, April 27, 2022. < <https://www.agriculture.com/livestock/cattle/elanco-and-royal-dsm-partner-to-reduce-cattle-methane-emissions> >
- 101 “Precision Agriculture Market,” Straits Research, 2021. < <https://straitsresearch.com/report/precision-agriculture-market> >
- 102 Reilly, Clare, and Fowler, Bree, “John Deere Robot Planter: The Future of Farming Looks Like Fewer Chemicals,” *CNET*, Jan. 6, 2023. < <https://www.cnet.com/tech/john-deere-robot-planter-the-future-of-farming-looks-like-fewer-chemicals/> >
- 103 Martin, Chuck, “John Deere Advances Automated Farming at CES 2023,” *IOT World Today*, Jan. 5, 2023. < <https://www.iotworldtoday.com/robotics/john-deere-advances-automated-farming-at-ces-2023> >
- 104 Ferreira, Nelson, et al, “Global Farmer Insights 2022,” McKinsey & Company, 2022. < <https://globalfarmerinsights2022.mckinsey.com/#d05> >
- 105 Jacquet, Florence, et al, “Pesticide-Free Agriculture as a New Paradigm for Research,” *Springer Link*, Jan. 27, 2022. < <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-021-00742-8> >
- 106 Kasprak, Alex, “The Desert Rock That Feeds the World,” *The Atlantic*, Nov. 29, 2016. < <https://www.theatlantic.com/science/archive/2016/11/the-desert-rock-that-feeds-the-world/508853/> >
- 107 Lu, Donna, “All Sizzle, No Steak: How Singapore Became the Center of the Plant-Based Meat Industry,” *The Guardian*, Nov. 5, 2022. < <https://www.theguardian.com/environment/2022/nov/06/all-sizzle-no-steak-how-singapore-became-the-centre-of-the-plant-based-meat-industry> >
- 108 “State of the Industry Report: Cultivated Meat and Seafood,” Good Food Institute, < <https://gfi.org/resource/cultivated-meat-eggs-and-dairy-state-of-the-industry-report/> >
- 109 Harvey, Simon, “General Mills’ G-Works Switches to Remilk Animal-Free Whey Protein as Perfect Day Contract Ends,” *JustFood*, Feb. 2, 2023. < <https://www.just-food.com/news/general-mills-g-works-switches-to-remilk-animal-free-whey-protein-as-perfect-day-contract-ends/> >
- 110 Green, Mark A., “Forty Percent of the World Food Program’s Wheat Supplies Come from Ukraine,” *Wilson Center*, June 2, 2022. < <https://www.wilsoncenter.org/blog-post/forty-percent-world-food-programs-wheat-supplies-come-ukraine> >
- 111 Welsh, Caitlin, Congressional Testimony, “The Impact of Russia’s Invasion of Ukraine in the Middle East and North Africa,” CSIS, May 18, 2022. < <https://www.csis.org/analysis/impact-russias-invasion-ukraine-middle-east-and-north-africa> >
- 112 Jenkins, Suzanne, “How the Russia-Ukraine War Helped Fuel Record Fertilizer Prices,” *Federal Reserve Bank of St. Louis*, Oct. 4, 2022. < <https://www.stlouisfed.org/publications/regional-economist/2022/oct/russia-ukraine-war-record-fertilizer-prices> >
- 113 Glauber, Joseph, et al, “From Bad to Worse: How Russia-Ukraine War-Related Export Restrictions Exacerbate Global Food Insecurity,” *IFPRI*, April 12, 2022. < <https://www.ifpri.org/blog/bad-worse-how-export-restrictions-exacerbate-global-food-security> >
- 114 Evans, Judith, “UK Salad Shortages to Last ‘For Weeks’ Retailers Warn,” *Financial Times*, Feb. 21, 2023. < <https://www.ft.com/content/5787aac3-a2bd-4168-a37a-d9a9cb53872e> >
- 115 Hirtzer, Michael, “Egg Prices Jump 8.5% as Food Inflation Hits Consumers,” *Bloomberg*, Feb. 14, 2023. < <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-02-14/eggs-jump-8-5-as-worsening-us-food-inflation-socks-consumers> >
- 116 Georgieva, Kristalina, “Confronting Fragmentation Where It Matters Most: Trade, Debt and Climate Action,” *International Monetary Fund*, Jan. 16, 2023. < <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2023/01/16/Confronting-fragmentation-where-it-matters-most-trade-debt-and-climate-action> >
- 117 “Did Food Prices Spur the Arab Spring?” *PBS News Hour*, Sept. 7, 2011. < https://www.pbs.org/newshour/world/world-july-dec11-food_09-07 >

- 118 Perasso, Giancarlo, and Doppelt, Elizabeth, “No Country Thrives on an Empty Stomach,” Apr 17, 2023. <<https://www.pgim.com/fixed-income/blog/no-country-thrives-empty-stomach> >
- 119 Krietsch, Leigh, et al, “Industrial Ammonia Production Emits More CO2 Than Any Other Chemical-Making Reaction,” C&EN American Chemical Society, June 15, 2019. < <https://cen.acs.org/environment/green-chemistry/Industrial-ammonia-production-emits-CO2/97/i24> >
- 120 Manthiram, Kartish, and Gribkoff, Elizabeth, “Fertilizer and Climate Change,” MIT Climate Portal, July 15, 2021. < <https://climate.mit.edu/explainers/fertilizer-and-climate-change> >
- 121 Tarino, Genevieve, “Fertilizer Use Driving Rapid Rise in Potent Nitrous Oxide Emissions,” Yale Environment 360, E360 Digest, Oct. 14, 2020. < <https://e360.yale.edu/digest/fertilizer-use-driving-rapid-rise-in-potent-nitrous-oxide-emissions> >
- 122 Harper, Jason, et al, “Investors and Regulators Turning Up the Heat on Climate-Change Disclosures,” Harvard Law School, Oct. 4, 2021. < <https://corpgov.law.harvard.edu/2021/10/04/investors-and-regulators-turning-up-the-heat-on-climate-change-disclosures/> >
- 123 “Company Ranking,” FAIRR, Accessed March 17, 2023. < <https://www.fairr.org/index/company-ranking/> >
- 124 “Low-Hanging Fruit: Why You Should Plant US Agriculture in Your Institutional Portfolio,” PGIM Real Estate, May 25, 2022.

留意事項 1

当レポートは、プロの投資家を対象として作成されたものです。すべての投資にはリスクが伴い、当初元本を下回る可能性があります。

本稿は、プルデンシャル・フィナンシャル・インク(PFI)の主要な資産運用事業で米国証券取引委員会への登録投資顧問会社であるPGIMインク、およびその関連会社の名のもとに提供されるものです。登録投資顧問会社としての登録は、一定水準のスキルまたはトレーニングを意味するものではありません。

英国では、PGIMインクの間接子会社であるPGIMリミテッドがプロの投資家に対して情報提供を行います。PGIMリミテッドの登記上の所在地は以下の通りです：Grand Buildings, 1-3 Stand, Trafalgar Square, London WC2N 5HR。PGIMリミテッドは、英国の金融行動監督庁(FCA)の認可および規制を受けています。(企業参照番号：193418)欧州経済領域 (EEA) では、PGIMネーデルラント B.V. によって情報が提供されます。PGIMネーデルラント B.V.の登記上の所在地は以下の通りです：Gustav Mahlerlaan 1212, 1081 LA Amsterdam, The Netherlands。PGIMネーデルラント B.V.は、オランダ金融市場庁(Autoriteit Financiële Markten - AFM)によりオランダで認可（登録番号：15003620）を受けており、欧州パスポートに基づいてサービスを提供しています。特定のEEA諸国では、それが認められる場合には、英国のEU離脱後の一時的な許可取決めにに基づき、PGIMリミテッドが利用できる規定、免除またはライセンスに従って情報が提供されます。これらの資料は、PGIMリミテッドまたはPGIMネーデルラント B.V.によって、FCAの規則が定めるプロの投資家、および/または第2次金融商品市場指令2014/65/EU (MiFID II)で定義されているプロの投資家に対して情報提供されるものです。イタリアでは、CONSOB (Commissione Nazionale per le Società e la Borsa) によりイタリアでの認可を受けたPGIMリミテッドによって情報が提供されます。日本では、日本の金融庁に投資顧問会社として登録しているPGIMジャパン株式会社（以下「PGIMジャパン」）およびPGIMリアルエステート・ジャパン株式会社（以下「PGIMリアルエステート・ジャパン」）によって情報が提供されます。PGIMジャパンは、金融庁によって認可された金融商品取引業者として日本国内で様々な投資運用サービスを提供しています。PGIMリアルエステート・ジャパンは、関東財務局に登録された日本の不動産資産運用会社です。香港では、香港の証券・先物取引監察委員会の規制対象企業であるPGIM（香港）リミテッドの担当者が証券先物条例の第一項第一条で定義されている適格機関投資家に対して情報の提供をしています。シンガポールでは、シンガポール金融管理局（MAS）より認可を受け、CMSライセンスのもとで資産運用を行うPGIM（シンガポール）Pte.Ltd.および適用を受けたフィナンシャル・アドバイザーが情報を提供しています。これらの資料は、2021年SFAの304条に従って「機関投資家」向けに一般的な情報として、また、SFA第289章305条に従って「適格投資家」その他の関連する投資家に対し、PGIMシンガポールにより提供されます。韓国では、韓国の適格機関投資家に対して、国境を越えて投資一任管理サービスを直接提供する免許を有するPGIMインクが情報を提供しています。

本資料は、情報提供または教育のみを目的としています。ここに含まれている情報は投資アドバイスとして提供するものではなく、資産の管理または資産に対する投資を推奨するものでもありません。これらの情報を提供するに当たってPGIMはお客様に対して、受託者としての役割を果たしているものではありません。

本資料は、経済状況、資産クラス、有価証券、発行体または金融商品に関する資料作成者の見解、意見および提言について示したものです。本資料を当初の配布先以外の方（当初の配布先の投資アドバイザーを含む）に配布することは認められておりません。またPGIMの事前の同意なく、本資料の一部または全部を複製することや記載内容を開示することを禁止いたします。本資料に記載されている情報は、現時点でPGIMが信頼できると判断した情報源から入手したものです。その情報の正確性、完全性、および情報が変更されないことを保証するものではありません。本資料に記載した情報は、現時点（または本資料に記載したそれ以前の日付）における最新の情報ですが、予告なく変更されることがあります。PGIMは情報の一部または全部を更新する義務を負うものではありません。また、情報の完全性または正確性について明示黙示を問わず何ら保証または表明するものでなく、誤謬についての責任を負うものでもありません。本資料は特定の証券、その他の金融商品、または資産運用サービスの勧誘を目的としたものではなく、投資に関する判断材料として用いるべきではありません。どのようなリスク管理技術も、いかなる市場環境においてもリスクを最小化または解消できることを保証することはできません。過去のパフォーマンスは将来の運用成績を保証するものではなく、また信頼できる指標でもありません。投資は損失となることがあります。本資料に記載されている情報や本資料から導出した情報を利用したことにより（直接的、間接的、または派生的に）被り得るいかなる損失についても、一切責任を負いません。PGIMおよびその関係会社は、それぞれの自己勘定を含め、本資料で示した推奨や見解と矛盾する投資判断を下す可能性があります。本資料に記載されている予測や見通しは、本資料作成時点のものであり、事前の予告なく変更されることがあります。実際のデータは様々であり、本資料に反映されない場合もあります。予測や見通しには大きな不確実性が伴い、よって、どのような予測や見通しであっても、単に多くの可能性の1つの代表的な例に過ぎません。予測や見通しは特定の前提条件に基づくものであり、経済や市場環境の変化に応じて大きく変化する可能性があります。PGIMは、いかなる予測または見通しに対しても、それを更新または変更する義務を負っていません。

利益相反：PGIMおよびその関連会社が、本資料で言及した有価証券の発行体との間で、投資顧問契約や他の取引関係を結ぶ可能性があります。時にはPGIMおよびその関連会社や役員が、本資料で言及した有価証券や金融商品をロングもしくはショートするポジションを保有する可能性、およびそれらの有価証券や金融商品を売買する可能性があります。PGIMの関連会社が、本資料に記載する推奨とは無関係の異なる調査資料を作成して発行することがあります。営業、マーケティング、トレーディングの担当者など、本資料作成者以外のPGIMの従業員が、本資料に表示する見解とは異なる市場に関するコメントもしくは意見を、口頭もしくは書面でPGIMのお客様もしくは見込み客に提示する可能性があります。

© 2023 PFI and its related entities. PGIM、それぞれのロゴ、およびロック・シンボルは、プルデンシャル・ファイナンシャル・インクおよびその関係会社のサービスマークであり、多数の国・地域で登録されています。

留意事項 2

本資料は、米国SECの登録投資顧問会社であるPGIMインクが作成した“FOOD FOR THOUGHT”をPGIMジャパンが監訳編集したものです。原文レポート（英語版）と本資料の間に差異がある場合には、原文の内容が優先します。

本資料は、PGIMグループの資産運用ビジネスに関する情報提供を目的としたものであり、特定の金融商品の勧誘又は販売を目的としたものではありません。また、本資料に記載された内容等については今後変更されることもあります。

記載されている市場動向等は現時点での見解であり、これらは今後変更することもあります。また、その結果の確実性を表明するものではなく、将来の市場環境の変動等を保証するものでもありません。

本資料に記載されている市場関連データ及び情報等は信頼できると判断した各種情報源から入手したのですが、その情報の正確性、確実性について当社が保証するものではありません。

本資料に掲載された各インデックスに関する知的財産権及びその他の一切の権利は、各インデックスの開発、算出、公表を行う各社に帰属します。本資料で言及されている個別銘柄は例示のみを目的とするものであり、特定の個別銘柄への投資を推奨するものではありません。

過去の運用実績は必ずしも将来の運用成果等を保証するものではありません。

本資料は法務、会計、税務上のアドバイスあるいは投資推奨等を行うために作成されたものではありません。

当社による事前承諾なしに、本資料の一部または全部を複製することは堅くお断り致します。

本資料内で取り上げられた資産クラス、個別セクター等はあくまで例示目的であり、推奨ならびにこれらにかかる将来性を明示・暗示的に示唆するものではありません。

“Prudential”、“PGIM”、それぞれのロゴおよびロック・シンボルは、プルデンシャル・ファイナンシャル・インクおよびその関連会社のサービスマークであり、多数の国・地域で登録されています。

PGIMジャパン株式会社は、世界最大級の金融サービス機関プルデンシャル・ファイナンシャルの一員であり、英国プルデンシャル社とはなんら関係がありません。

PGIMジャパン株式会社

金融商品取引業者関東財務局長（金商）第392号

加入協会：一般社団法人投資信託協会、一般社団法人日本投資顧問業協会、一般社団法人第二種金融商品取引業協会

PGIMJP 99075

PGIM メガトレンドのご案内

変化を続ける世界情勢が、今後の投資行動にどのような影響を与えるかを考察しています。



プライベート市場における新たな潮流

プライベート市場は、何世紀にもわたって、農業従事者、起業家、企業経営者、不動産開発業者など、様々な人々に資本市場へのアクセスを提供してきた。

➡ 詳しくはレポートをご覧ください → [当社ウェブページ](#)



暗号資産への投資

暗号資産の時価総額は1兆米ドルを大きく上回り、無視できない規模にまで成長している。暗号資産はそのエコシステムにおいて、機関投資家に多様化された魅力的なリターンを提供し得るものであり、足元では機関投資家が大きなポジションを構築するのに十分な規模と流動性を有している。

➡ 詳しくはレポートをご覧ください → [当社ウェブページ](#)



テクノロジーが変えるサービス業のかたち

20世紀に世界経済の主役であった農業と製造業は、今やサービス業にその座を明け渡した。サービス業は、先進国市場で労働人口の4分の3が従事し、世界のGDPの3分の2を生み出している。

➡ 詳しくはレポートをご覧ください → [当社ウェブページ](#)



気候変動の波を掻い潜る

気候変動はもはや仮想のリスクなどではない。それは既に世界経済を転換させ、市場を再構築し、投資環境を変容させている。本稿では、気候変動に関する投資課題を取り上げ、低炭素経済への移行に伴う、ポートフォリオに潜む脆弱性と潜在的な投資機会を考察している。

➡ 詳しくはレポートをご覧ください → [当社ウェブページ](#)



パンデミック後の世界

新型コロナウイルスを背景に、企業は消費者行動や企業のビジネスモデルの持続的な変化への適応を余儀なくされている。こうした中、コロナ禍による経済封鎖が解除された後の世界に十分に備えるために、今後の大きな構造変化に焦点を当てた検証が必要である。

🕒 [詳しくはレポートをご覧ください](#) → [当社ウェブページ](#)



未来を拓くビジネスモデル

さまざまな破壊的エネルギーが契機となって、機関投資家の投資分析やポートフォリオ配分を根本的に変化させるような3つの新たなビジネスモデルが出現している。本稿では、このような変革的なビジネスモデルが投資に与える影響について検証する。

🕒 [詳しくはレポートをご覧ください](#) → [当社ウェブページ](#)



テクノロジーフロンティア

我々はこれまでにない技術革新の時代に生きている。技術革新がもたらす破壊的創造は、資産クラスや地域にまたがり、投資機会を根本的に変えるものとなるだろう。

🕒 [詳しくはレポートをご覧ください](#) → [当社ウェブページ](#)

この他にも、PGIMメガトレンドシリーズ（英語版のみ）が刊行されています。過去の刊行物に関しては、当社営業担当までお問い合わせください。



THE PURSUIT OF OUTPERFORMANCE