

世界の食糧問題とアグリテック

明治大学名誉教授 大石芳裕

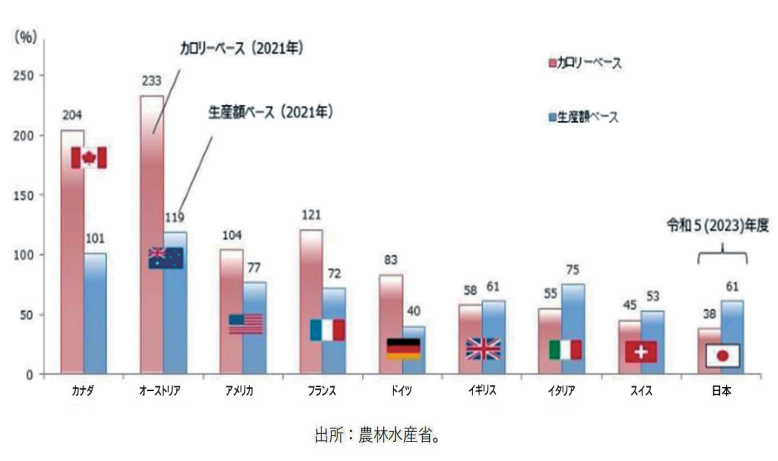
1. 食料問題と食糧問題

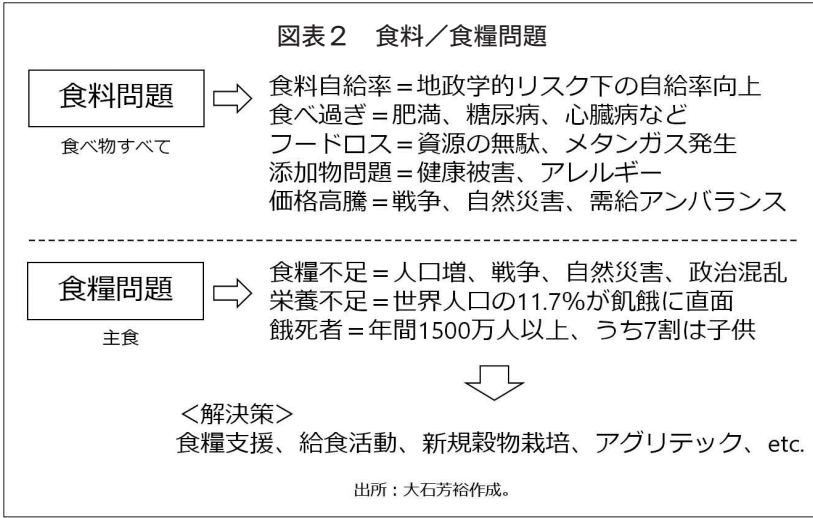
日本の食料自給率は、生産額ベースでは61%とそこそこ高いものの、カロリーベースでは38%（2023年度）と先進国の中でもかなり低い（**図表1**参照）。地政学的リスクが高まっている今日、食料自給率は極めて重要な課題であるが、世界にはより深刻な「食糧問題」がある。本稿では、「食料」問題と「食糧」問題を分けて考える。「食料」は「食べ物すべて」であり、穀物・畜産物・魚介類・加工食品など口に入るものすべてを含む。一方、

「食糧」はその中の主食であり、主食は国・地域によって異なる。ここでは正確な分類を目指しているわけではないので、「食糧」は世界のさまざまな国・地域の人々が「生きていくために不可欠な主食」と考えておこう。そうすると、「食料問題」と「食糧問題」は**図表2**のように分けられよう。

「食料問題」には、「食料自給率」や「食べ過ぎ」「フードロス」「添加物問題」「価格高騰」などがある。これらが「食料問題」のすべてではないが、「食べ過ぎ」や「フードロス」は先進国ないし富裕層に特有の問題である。日本では現在、「フードロス」対策の

図表1 世界の食料自給率





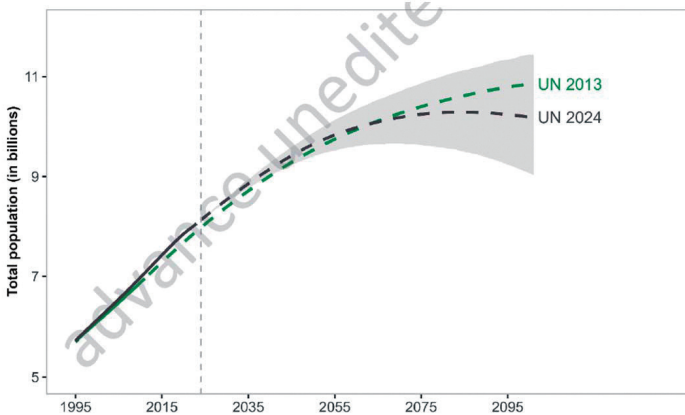
一つとしてレストランなどでの食べ残しを持ち帰る（ドギーバッグ）の基準が検討されている。私が米国に住んでいた1980年代初頭においてはドギーバッグは当たり前前の光景だったので、「何をいまさら」の感があるが、無駄な食べ残しを有効活用するの

はいいいことであろう。他方、「食糧問題」には「食糧不足」「栄養不足」「餓死者」などがあり、先進国の一部でも生じていることではあるものの圧倒的に途上国での課題となっている。とりわけ、途上国における貧困層・弱者に皺寄せがいつており、世界人口の11・7%が栄養不足で飢餓に直面しており（UNICEFによれば、2022年時点で8億2800万人）、年間1500万人以上の餓死者がいてそのうち7割が子どもである。アフリカのいくつかの国がもっとも厳しく、南アジア・中東・南米なども深刻である。

現在81億人の世界人口は、**図表3**に見られるように、いずれ100億人を突破すると予想されている。先進国や中進国の多くは人口減であるが、所得の低い途上国が人口増で、世界の人口をかかさ上げしている。つまり、「食糧問題」に悩む国々が、人口増でさらに辛い思いをしなければならぬことが確実である。「食糧問題」の解決は、

焦眉の課題となっている。

図表3 世界の人口予測



Source: UN World Population Prospects 2024, p.8.

2. 食糧問題に対する解決策
 — 新規穀物栽培

世界の富の偏在同様、世界の食糧の偏在が多くの命を奪っている。我々は「食糧問題」に対し、「食糧支援」や「給食活動」「新規穀物栽培」「アグリテック」などで解決の方策を検討する

必要がある。「食糧支援」や「給食活動」については既に多く知られているので、以下ではアグリテックについて少し詳しく検討する。

その前に食糧問題の解決策の一つである「新規穀物栽培」について、一つ事例を紹介しておきたい。新規穀物栽培は、基本的に現地に適した穀物を安価な費用で導入できるので、資金不足に悩む途上国でも食糧問題の有効な解決策として注目されている。国際連合食糧農業機関（FAO）によれば、シエラレオネ出身のシェフであるファティマト・ビンタ氏はFAOと協力して、2024年、ガーナで「フォニオ（Fonio）」という穀物の栽培を始めた。フォニオはもともと地元で採れる伝統的穀物であり、栄養分豊富で、やせた土地でも育ち、栽培方法も容易である。彼女はFAOと協力して、まず約100人の女性にフォニオの栽培方法や生産性を上げる方法を教育した。それは同時にこれらの女性の所得を高めることにもなっている。彼女はまた、フォニオをアフリカ諸国のみならず世界中に普及

図表4 フォニオ (Fonio)



させる計画である。このような地元の状況に適した穀物（Adequate Food）の栽培が、いまや至るところで始まっており、それは栄養不足などの食糧問題の解決に貢献すると同時に、自給率を高め食料問題の解決にも役だっている（図表4参照）。

3. 食糧問題に対する解決策 ——アグリテック

アグリテックとは、農業（Agriculture）とテクノロジー（Technology）とを掛け合わせて作られた造語である。金融分野のフィンテックや生物分野のバイオテックなどと同様、最新の技術を用いて当該分野の飛躍的發展を目指すものである。アグリテックに似た用語にフードテック（FoodとTechnology）があるが、こちらはロボットによる調理や配膳やIoTを活用した需給整合など「食」の分野における最新技術を指すことが多い。両者は関連しているものの、ここでは一応、アグリテックを「農業の生産・開発・流通に関わるもの」と捉えておき、フードテックとは区別しておく。

アグリテックには、関連するさまざまなものがあるが、ここではこれまで取り上げられてきた代表的なものを紹介しておきたい。

(1) スマート農業

スマート農業はアグリテックとほぼ同義語として使われるほど、アグリテックの代表的存在である。日本では「農業の生産性の向上のためのスマート農業技術の活用促進に関する法律（スマート農業技術活用促進法）」が第213回通常国会で成立、2024年10月1日に施行されている。同法では、生産と開発に関する二つの計画（生産方式革新実施計画と開発供給実施計画）の認定制度を設け、認定を受けた農業者やサービス事業者は税制・金融等の支援措置を受けられることになっている。スマート農業には、各種センサー設置による作物生育状況のリアルタイム把握や土壌の管理、ドローンによる作付状況の監視あるいは水・肥料・農薬の散布、GPS技術を活用したトラクターなどの管理、コンピューターによる大量のデータ解析などが含まれる。これらのアグリテックを用いて、農業者は必要な水・肥料・農薬などの量を調整し、生産性を上げるとともにコストを削減することができる。

(2) AI分析

AI分析はスマート農業の中に含まれることが多いが、ここでは敢えて別立てにした。各種センサーから集められた作物生育状況や土壌状況、温度・湿度・日照量・風量などの大量のデータをクラウドに集約し、過去の実績を機械学習したAIで分析することによって、最適な農作業を農業者に提案する。農業者は「経験と勘」に頼るだけでなく、データに基づいて最適な作業を選択することができる。

AI分析は、いずれオンラインプレミス（農業者自身のコンピューターやモバイルデバイスを運用すること）で行うことができるようになると思われるが、現段階ではクラウドを活用し、汎用的なAIを活用して分析した方がコスト的にも機能的にも優位である。日本のみならず世界中のアグリテックのデータをAIが学習し、より効率的な農作業の提案をすることになるだろう。

(3) 都市型農業

通常、農業は農地で行うものである。

小さな農地は都市部にもあるが、一般に農地は都市郊外あるいは地方に存在する。それを人々が密集する都市部のビルで農業を営もうというのが都市型農業である。一般的な都市農業（都市部で行われる通常の農業）とは区別して、ここでは都市型農業と呼んでいる。

地価の高い都市部のビル内で農業を営むためには、通常、多層階で作付けを行う必要がある。したがって、必然的に垂直農業にならないを得ない。垂直農業ならではの施設・システム・栽培方法が必要になる。水耕栽培もその一つであり、土を使わず、水の中に根を張らせ、肥料・農薬などをそこから直接吸収させる方法である。根が四六時中水の中に浸かっていると根腐れを起こす可能性も高くなり、水耕栽培に適した品種の改良も必要になる。さらに、ビル内なので日照量が不足し、それを補うためにLEDライトなどの活用も必要となる。スマート農業やAI分析で説明したようなアグリテックを組み合わせて、効率的な農業生産を目指す。

都市部で栽培・収穫するので、生産と消費が同一地区で行われ、輸送コストの削減にもつながる。ただ、全体として高コストになりがちであり、利益を上げることが難しい。

(4) 自動化・ロボティクス

自動化やロボティクスも広い意味で言えばスマート農業の分類に含まれることが多いが、スマート農業がどちらかといえば情報技術（IT）を活用して生産性を向上させるアグリテックであるのに対し、自動化やロボティクスはどちらかといえば機械技術（ET）を活用して人手不足を解消しようというアグリテックである。

自動運転トラクターは、GPSを利用し、位置特定を精緻化し、人が運転・操作しなくても農作業を行うことができる。土を耕したり、畝を掘ったり、種をまいたり、水を供給したり、肥料・農薬を施したり、作物を収穫したり、と多くの農作業を自動化することができ。

自動化はトラクターのみならず、重

たい種や肥料・農薬、収穫物を倉庫に収納したりトラクタに積んだりするとき、自動ロボットを活用して行うことができる。農作業は、基本的に土地に対して働きかけるものであるから、農業者は腰をかがめ、重たいものを上げ下げしなければならぬ。ロボットは、この農業者の重労働を軽減し、健康を守るとともに時間節約を図ることができる。ロボットには自動ロボットの他、人体に装着する人支援ロボットもあるが、ゆくゆくはヒト型ロボットが活躍するかもしれない。

(5) バイオテクノロジー

バイオテック（バイオテクノロジー）もいまやアグリテックの一つになっている。バイオテックは、そもそも生物系のテクノロジータンなので農業には深く関連している。バイオテックを活用した品種の開発・改良が、耐病性を高めたり、耐虫性を高めたり、耐候性を高めたりして、収穫量を増やすことに貢献する。

CRISPR (Clustered Regularly

Interspaced Short Palindromic Repeats) は原核生物に存在する DNA (デオキシリボ核酸) 領域で、ファージ (細菌や古細菌に感染して複製するウイルス) やプラスミド (細菌や酵母の核外に存在する、染色体とは独立して複製する DNA 分子) などに対する獲得免疫機構として機能する。CRISPR-Cas9 によって標的の DNA を切断しゲノム編集が可能であることが示されたのは 2000 年代初期であったが、エマニュエル・シャルパンティエとジェニファー・ダウドナは従来より精度が高く使いやすいゲノム編集手法の開発を評価され、2020年のノーベル化学賞を受賞している。

CRISPR-Cas9 などを活用したゲノム編集については賛否両論あるが、ゲノム編集は遺伝子組み換えと異なり DNA の狙った場所に変異を加えることができるため安全性が高い。人間のゲノム編集は日本をはじめ多くの国で禁止されているが、食品に関しては自然界においても同様の変異が生じるため人工的ゲノム編集との区別ができず、

禁止はされていない。ただし、日本ではゲノム編集生物の開発者は使用する前に所管省庁に相談する必要がある。

(6) ブロックチェーン

ブロックチェーンとは、ブロックと呼ばれる単位でデータを管理しチェーン（鎖）のように連結して情報を保管し、取引履歴を分散的に処理・記録するデータベースである。ブロックチェーンで管理されるデータの改竄は困難なので、取引履歴が正確に捕捉される。もともと仮想通貨を実現するために開発された技術であるが、現在は多くの分野で利用可能である。農業分野では、農産物の生産過程から出荷・加工・流通・消費・廃棄までの記録が追跡できるトレーサビリティ確保のために利用されている。

トレーサビリティ (Traceability) とは Trace と Ability を掛け合わせた造語であり、日本語では「追跡可能性」と呼ばれている。製造業分野において児童労働や強制労働の排除、偽造の防止、異物混入や欠陥部品の把握などの

ために近年重視されるようになった。農業分野においても農薬使用の明示や産地偽装の防止、食中毒発生箇所特定、ロットの大きさ明示などの理由からトレーサビリティが極めて重要になっている。

トレーサビリティをブロックチェーンで管理することがアグリテックの一つである。ブロックチェーンは農業生産性を直接向上させるものではないが、加工業者や流通業者、消費者に安心感を与え信頼性を高めることによって生産物の販売を容易にする。さらに、ブロックチェーンをサプライチェーン・マネジメント (SCM) に活用できれば、需要予測の精度を高くでき、需要に応じた生産・出荷体制をとることができる。ブロックチェーンは間接的ながら農業生産性を高めることができる。

以上の六つのアグリテックがアグリテックのすべてではないが、まとめたものが図表5である。一覧して分かるように、先端的

図表5 アグリテック

(1) スマート農業

センサーやドローン、GPS技術、データ解析などの先端技術を用い、作物の生育状況や土壌の状態をリアルタイムで把握し、必要な水・肥料・農薬の量を調整する。

(2) AI分析

スマート農業に加え、温度・湿度・日照量・風量などをクラウドに集約し、AIで分析することによって最適な農作業を提案する。農業者は経験と勘ではなくデータに基づいて作業できる。

(3) 都市型農業

農業を農地で行うのではなく、都市部のビル内で行う方法。垂直農業や水耕栽培、LEDライトなどを活用し、スマート農業やAI分析も援用しながら産地消で実施する。それによって消費地までの輸送コストを削減できる。

(4) 自動化・ロボティクス

自動運転トラクターや農業ロボットを用い、種まきや施肥、除草、収穫などを効率化する。労働力不足の解消や過酷な作業からの解放に貢献し、生産性を高める。

(5) バイオテック

収量を高めたり耐病性・耐虫性を向上させたりする品種の開発が、CRISPRなどのゲノム編集技術の発達で進展している。ゲノム編集については賛否両論あるが、環境に適した作物の開発に貢献している。

(6) ブロックチェーン

ブロックチェーンは生産者から消費者までの作物流通の透明性を高め、近年重視されているトレーサビリティの向上に貢献することができる。これにより、安全性や信頼性が担保され、生産されたものが販売されやすくなる。

技術を利用してしているので、食糧問題に悩んでいる貧しい途上国での利用は限定的である。そこで、お金もかからず

出所：大石芳裕作成

メンテナンスもしやすいアグリテックの事例を次節で紹介する。

4. 途上国向けのアグリテック

図表5で示したアグリテックのうち、ドローンによる生育状況の把握や肥料・農薬の散布などは途上国でも有効に活用されている。近年、ドローン価格も低下し、かつスマホなどのデジタルデバイスも普及しており、ドローンの導入・活用・維持が可能になってきた。また、バイオテックも高度な技術であるが、現地の状況に適するよう国立の開発機関や民間団体がゲノム編集で開発・改良した作物を農業者に安価に提供できれば収穫を増大させるであろう。ただここでは灌漑（灌水）問題に限定して、途上国向けのアグリテックを考えてみたい。

途上国といっても、南米や東南アジアのように高温多湿地域もあれば中東・北アフリカのように極度乾燥地域もある。一般に、高温多湿地域は植物の生育に適しているので、食糧問題がより

深刻なのは極度乾燥地域であろう。

極度乾燥地域における灌漑問題は農業における死活問題である。作物は水がなければ育たない。地球温暖化などの気候要因や森林伐採・焼き畑などの人為的要因で砂漠化が進展している今日においては、とりわけ効率的・効果的灌漑の重要性が増している。日本砂漠学会が設立されて30周年を迎えた2019年、改めて砂漠化対処を考える講演会が開催されたが、そこで基調講演した石川祐一は、一方で砂漠化の進展と他方での砂漠の緑化が同時進行していると述べている（『砂漠化の現状について』『砂漠研究』30-3、2020年、19〜26頁）。ここでは、砂漠を含む極度乾燥地域における緑化に関するアグリテックを事例として取り上げたい。

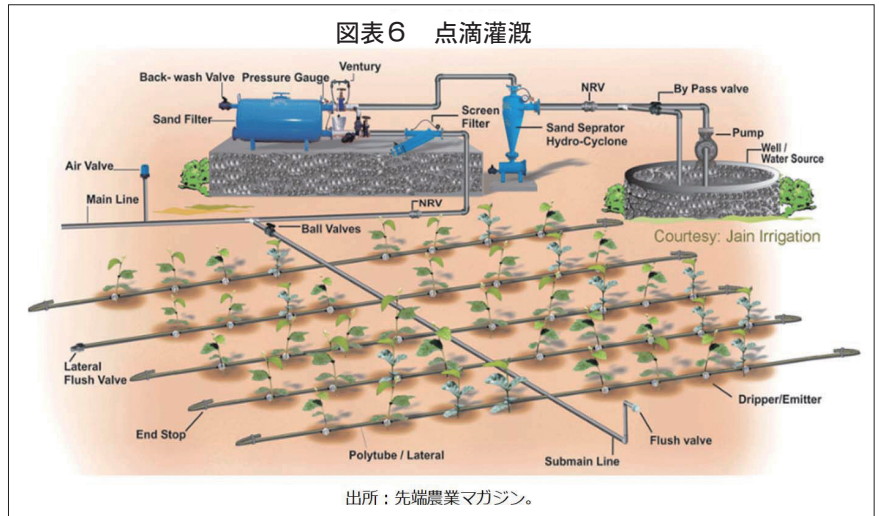
（1）点滴灌漑

通常、農業の灌漑（灌水）は溜め池や水路、井戸を作って行われる。そこから得られた水を、スプリンクラーなどをを用いて作物に散布しても極度乾燥

地域においては水の蒸発が著しく、非効率であった。またスプリンクラーは、飛散するため水の無駄が多く、葉にかかると病気の進行を早め、土壌の栄養分を流したり塩害を促進したりするなどの課題があった。

そこで考えられたのが点滴灌漑である。点滴灌漑の発想や類似の農法は古代からあったものの、近代的点滴灌漑システムを考案し普及させたのは1950年代のイスラエルと言われている。国の半分以上が極度乾燥地域で、かつ周辺をアラブ諸国が取り囲んでいるため、食糧確保は国家存続のための必須課題であった。点滴灌漑は、水源から作物までチューブで水を運び、チューブに等間隔に開けた小さな孔あなから作物の根本に点滴のように滴下する。こうすることによって、スプリンクラー散水のような無駄を省き効率的・効果的な灌水ができる。水の中に肥料や薬品を混入することもでき、水と肥料・薬品の効率的・効果的提供や、コストの削減、人力の削減、土壌の保護などを同時に達成できる。点滴灌漑の典型的

なシステムは**図表6**に示されている。
 点滴灌漑は上記のようなメリットがあるものの、設備の設置・維持・廃棄にコストがかかることや送水チューブが詰まりやすい、孔に土や根が入り点滴できないなどのデメリットも残され



ている。
(2) RDI灌漑エコシステム
 そこで考案されたのが植物反応型灌漑システムであるRDI (Responsive Drip Irrigation) 灌漑エコシステムである。Drip Irrigationなので点滴灌漑の一種といえ、例えばなくてもないが、通常の点滴灌漑のようにチューブから水を滴下するのではなく植物の根がチューブ内の水に反応して (Responsive) 自ら水を取りにいく点

が根本的に異なる。
 RDI灌漑エコシステムはGROWSTREAM™ チューブというマイクロポラスチューブを利用する。植物の根は滲出液を自然に放出しているが、GROWSTREAM™ チューブはこの滲出液に反応して必要なだけの水と栄養を供給する。GROWSTREAM™ チューブは非常に低い圧力2PSIで、24時間365日自動で稼働可能である。コントローラーもバルブも

センサーも電気も不要である。取り付けも簡単で、コストも労力も削減できる。水や肥料の使用量を削減でき(点滴灌漑と比較し、水使用量を70~90%

センサーも電気も不要である。取り付けも簡単で、コストも労力も削減できる。水や肥料の使用量を削減でき(点滴灌漑と比較し、水使用量を70~90%

図表7 RDI灌漑エコシステム



図表8 GROWSTREAM™ チューブ



削減できるという)、害虫や病気も低減できる。メンテナンスも容易で何年にもわたる再利用が可能である。目詰まりの心配もなく、土壌の劣化も抑制できる(図表7、図表8参照)。そのため、極度乾燥地域においても作物の栽培が可能になり、砂漠緑化に貢献し、収穫量を飛躍的に増大させ農業者の所

得を向上させることができる。

RDI灌漑エコシステムは、アブダビで開催された2019年のGFIA (Global Forum for Innovations in Agriculture) でベストイノベーション賞を受賞し、翌2020年にはアブダビ投資庁からアラブ首長国連邦(UAE)での研究開発事業を開始するための助成金を得た4社のうちの1社に選出されている。

そのほか、2021年にはBioAg World Congressで第2位のDisruptor AwardやThe aidexカンファレンスでAid Innovation Challenge Awardも受賞している。2024年現在、RDI灌漑エコシステムは、中東・北アフリカの極度乾燥地域やインド、パキスタン、ヨーロッパなど世界43か国で稼働している。

5. 終わりに

食糧問題を引き起こす要因は、決して人口増や地球温暖化だけではない。むしろ、戦争や紛争、政治体制の混乱

経済の停滞・衰退などの人間の営みが大きな要因となっていることが多い。逆に言えば、砂漠緑化のような人間の行為が食糧問題の解消につながる可能性がある。基本的には政治の安定と経済の発展が不可欠ではあるものの、RDI灌漑エコシステムなどのアグリテックの発展によって食糧問題がいくらかでも緩和することを心から祈念している。

筆者略歴 (おおいし・よしひろ)

1952年、佐賀県生まれ。佐賀大学経済学部助教授を経て明治大学経営学部教授。現在は明治大学名誉教授。専門はグローバル・マーケティング。日本流通学会・元会長(現参与)、多国籍企業学会・元副会長(現名誉会員)、国際ビジネス研究会・元常任理事(現フェロー)、異文化経営学会・元理事(現フェロー)、『日本企業のグローバル・マーケティング』『実践的グローバル・マーケティング』など編・著書多数。