



注目を浴びる環境制御型農業

—加速化する都市型農業—

2021/5

三井物産戦略研究所
技術・イノベーション情報部 インダストリーイノベーション室
野崎駿介

Summary

- 農業を取り巻く環境が変化するなかで「環境制御型農業」が注目されている。環境制御型農業とは、生育環境（光、CO₂、温湿度、気流）を制御して行う施設園芸であり、植物工場や高度に環境制御された温室栽培を含む。屋内ゆえに省人化でき、農薬の低減、場所を選ばないといった特徴を持つ。
- 環境制御型農業の生産・流通面における課題解決に向け、オペレーションの最適化等によるコストダウン、品質の改善、輸送時間短縮などの取り組みが進められている。
- 今後、都市部での実装拡大が予想されるが、生産・流通面に加えてサーキュラーエコノミーの観点での課題解決が進めば、新たなビジネス機会が広がる可能性がある。

1. 農業を取り巻く環境

1-1. 世界人口の増加と気候変動

国連によれば世界の人口は2019年の時点で77億人であり、2050年には97億人に達する。人口の増加に加え都市化が進み、2050年までに世界の人口の68%が都市部に住むと予測されている。また、気候変動が農業に与える影響について懸念されている。農家は気候変動による被害を直接受ける。例えば、温暖化が進むことにより、高温による生育障害や品質低下といった影響がある。さらには、病害虫の発生増加や分布域の拡大による被害も増加すると考えられる。食料を安定して供給するという観点から、土地当たりの生産効率、農業従事者1人当たりの生産効率を高めることは必須である。

1-2. 食のニーズの変化

食に対する消費者のニーズは多様化してきている。特に高付加価値な食に対するニーズは先進国で見られていた。近年では、新興国であっても所得の向上により高付加価値な食を追求する動きが見られる。この傾向はコロナ禍による健康意識の高まりにより加速している。例えば、2020年オーガニック加工食品の売り上げは前年比11%増となっており（出所：Euromonitor）、コロナによる経済の落ち込みやオーガニック加工食品が比較的高価であるにもかかわらず成長した。その背景には、コロナを契機として、健康増進のため食生活を改善することや農薬等の使用量が少ない食品を選択したいというニーズが増したことがある。

1-3. 安定した食料供給へのニーズ

2020年に始まったコロナ禍によるサプライチェーンの混乱を契機として、確実な食料供給の手段の一つ

として、改めて地産地消が見直され始めている。例えば、欧米を中心にCSA（Community Supported Agriculture）と呼ばれる地域支援型農業が盛んになっている。CSAとは、地域の生産者と消費者を結びつける、産直システムである。消費者はあらかじめ生産者へ支払いを行い、定期的に生産者から新鮮な野菜などを購入することができる。また、消費者からは生産者が分かるためトレーサビリティの観点からも安心できる。一方、上述のとおり2050年までに世界の人口の68%が都市部に住むと予測されており、安定供給の観点から、今後は都市部での農業は重要になっていくと考えられる。

上記のような農業を取り巻く環境において注目されるのが「環境制御型農業」である。環境制御型農業は、2024年までに約1,400億ドル以上の市場となる（出所：Fast.MR）と予想されており、次のような特徴がある。①屋内で高度に生育条件の制御を行う、②AIやロボティクス等の技術活用による省人化が進みやすい、③屋内ゆえに気象、自然災害の影響を受けにくい、④作物の生育環境を制御するため農薬等の使用量を低減できる、⑤生育の履歴を把握しやすい、⑥都市部など消費者の近くでの生産が可能である。本稿では、環境制御型農業の分類、課題、展望について述べる。

2. 注目される環境制御型農業

環境制御型農業とは、生育環境（光、CO₂、温湿度、気流）を制御して行う施設園芸であり、具体的には、植物工場や環境制御装置が設置されている温室栽培などがこれに当たる。水耕栽培などの栽培技術や植物生理学の導入、コンピュータ管理により室内の環境を積極的に制御することで作物の生育を最適化することができ、消費者が多く、耕地として使用できる土地が少ない都市近郊での農業を可能にする。代表的な栽培作物には、レタスなど葉物野菜やイチゴ、トマト、マッシュルームがある。そのほか、医療用を含め大麻が合法の地域では大麻栽培にも使われている。

環境制御型農業は、栽培方法、栽培形態、立地によって分類することができる（図表1）。栽培方法による分類としては、土壌を使った栽培方法に加え、ハイドロポニックス（水耕栽培）やエアロポニックス

図表1 環境制御型農業 分類

分類		概要	
栽培方法	土耕栽培	土壌を使った栽培方法であり、土壌中の水分等を制御する。	
	ハイドロポニックス	水耕栽培のことであり、トマトなどで一般的に使用されている。	
	エアロポニックス	養液を噴霧する栽培方法。そのためポンプやエアコンプレッサーが必要。培地が軽量化されるため、多段化に向いている。	
	アクアポニックス	テラピアなどの養殖と水耕栽培の組合せ。魚の排泄物を肥料として利用する。	
栽培形態	グリーンハウス型	作物の成長に必要な光源として、太陽光を利用する。	
	垂直農業型	倉庫モデル	未使用、もしくは古い倉庫を利用した栽培システム。
		コンテナモデル	SHIPPINGコンテナなどモジュール式の栽培システム。
		家庭菜園モデル	都市部のマンション内にも設置可能な小型栽培システム。

出所：Lux Researchの資料から三井物産戦略研究所作成

(霧状にした養液を根に噴霧する栽培方法)がある。特徴としては、水、養液といった資源のインプット量を最小化できる点に加え、培地が軽量化されるため多段化に向いている点がある。これらに加え、水耕栽培と養殖を組み合わせたアクアポニックスもある。栽培形態による分類としては、グリーンハウス型と垂直農業 (Vertical Farming) 型がある。グリーンハウス型は主に太陽光を利用するのに対し、垂直農業型ではLEDなどの人工光を利用する。太陽光は人工光と比較し電力費は安く済む。人工光を利用する垂直農業型は、発熱の少ないLEDの採用により垂直方向に「畑」を積み重ねることができるため、高密度化できるのが特徴であり、LEDのコストダウン、性能の向上により増えてきた。さらに垂直農業型においては、立地による分類として①倉庫モデル、②コンテナモデル、③家庭菜園モデルがある。①倉庫モデルでは、未使用、もしくは古い倉庫といったインフラを再利用する。②コンテナモデルとは、コンテナを利用して行うモジュール式の栽培システムである。例えば、食料品店などの屋上や駐車場の狭いスペースでも設置可能な SHIPPING コンテナなどが利用される。③家庭菜園モデルは、都市部のマンションなどに適した小型の家庭用のシステムである。

3. 環境制御型農業における課題 (生産・流通) と取り組み

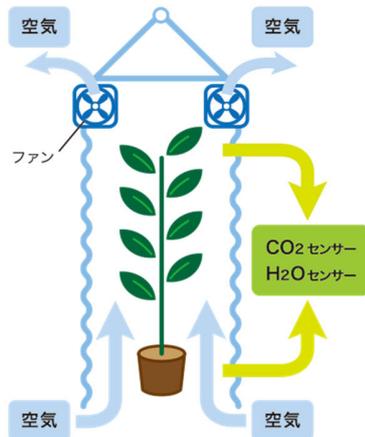
3-1. 生産課題に対する取り組み

環境制御型農業の生産における主な課題としてコストが高いことが挙げられる。コストにおいては、人件費と電力費が多くを占める傾向にあり、オペレーション最適化、ロボティクスやAI活用による省人化が盛んに行われている (後述、コストダウンに向けた取り組み①、②)。また膨大なデータを共有化することもコスト削減に貢献することができる。ただしデータの活用においては、企業ごとに囲われてしまうため、膨大な量のデータを活用するための仕組み作りが必要といわれている。研究データを共有し、機械学習およびAIを活用することで、データプラットフォームを作成し、民間企業へ貢献しようという動きがある (コストダウンに向けた取り組み③)。さらに、環境制御型農業に適した品種開発への取り組みも進んでいる (品質の改善に向けた取り組み)。

3-1-1. コストダウンに向けた取り組み①: オペレーション最適化

オペレーション最適化に当たっては、植物生態の高精度センシング技術とAIの組み合わせによる取り組みが進められている。例えば、(日) PLANT DATAでは、光合成のリアルタイム計測や植物のわずかなストレスを示すクロロフィル蛍光測定など、植物の生態情報を可視化する技術を開発した (図表2)。本技術によって得られた生育情報は生育環境パラメータへ反映させることで、収量の向上が期待できる。さらに、このように植物の光合成を可視化し、成長速度をモニタリングすることで、効率的な施肥や収穫時期の予測が可能となる。こうしたオペレーションの最適化をすることでコストダウンに取り組んでいる。

図表2 光合成蒸散リアルタイム計測



イメージ図



実際に測定している様子

出所：PLANT DATA社ウェブサイト (<https://www.plantdata.net/photosynthesis.html>)

3-1-2. コストダウンに向けた取り組み②：省人化

2019年から2020年にかけてオランダのワーゲニンゲン大学と中国のテンセントが共同で行った「Autonomous Greenhouse challenge」では、AIを活用した、遠隔でのチェリートマトの温室栽培が競われた。その結果、従来の農家が栽培した場合と比較して、収益性や、栽培における熱や電気の使用量などの観点で優れた結果を出し、AIによる自律栽培が有望かつ現実的であることが示された。このようなAIによる自律栽培のほかにも、作物の成熟度を判断し収穫に適した作物のみを収穫するロボットの研究開発も進んでいる。AIの活用により可能となる遠隔監視とロボットによる作業の自動化を組み合わせることで、人間による関与を最小限にすることが可能となると考えられる。

3-1-3. コストダウンに向けた取り組み③：データ共有化

環境制御型農業においては、日々データが収集される。これらデータを共有することで、より効率的に利益の向上や生産性を改善することができる。米国では、環境制御型農業における研究を加速するためにデータ共有を促進することを目的とした管理環境農業オープンデータプロジェクト（CEAOD）が設立された。CEAODでは、研究者のベストプラクティスを収集し、簡単に利用できるようにするためのデータ標準化、共有、分析を行うためのツール開発に取り組んでいる。垂直農業に取り組む有望なスタートアップの一つである（米）Plentyも取り組みに参加しておりデータの提供を始めている。データにはCEAODのウェブサイトを通して誰でも無料でアクセスすることができる。

3-1-4. 品質の改善に向けた取り組み：環境制御型農業向け品種開発

ゲノム編集技術などを使った、環境制御型農業に適した品種開発が始まっている。例えば、（独）Bayerは垂直農業向けの品種開発を行う（米）Unfoldを設立した。また、ゲノム編集スタートアップの（米）Inariは屋内農業向けの品種開発を進めている。垂直農業を展開する（米）KALERAは、屋内農業用種子を開発している（米）Vindaraを2,370万ドルで買収した。

3-2. 迅速な流通に向けた取り組み

流通については、生鮮食品の輸送時間短縮といった課題があるが、現在、小売業者が環境制御型農業を推進する企業と組み、生鮮野菜を消費者に新鮮なうちに届けるという取り組みが進められている。例えば、ネットスーパーのシステム開発を手掛ける（英）Ocadoは、同社が保有するAIやロボティクスによる自動化といったロジスティクスに関する技術と、流通センター近くに設置された垂直農業を組み合わせることで、収穫後数時間以内に顧客に農産物を届けることを狙っている。このために2019年に垂直農業を行う（英）Jones Food Companyの株式を58%購入した。また、同社は、温室自動栽培の（蘭）Privaや垂直農業スタートアップの（米）80 Acres Farmsと合弁会社を立ち上げた。

流通センターよりもさらに消費者に近い小売店の店舗内で栽培を行い、生産と販売を一体化する取り組みも行われている。例えば（独）Infarmは小型の生産システムを店内に導入することで、農薬を使っていない、新鮮な野菜を提供している。同社のシステムは10カ国30都市以上に展開されている。各店舗にある生産システムでのデータはクラウド上に収集され、常に最新の栽培レシピへアップデートされている。

さらに、農業事業者により、都市部への最短時間でのデリバリーのため、都市部で使われなくなった不動産の活用が始まっている。例えば、垂直農業に取り組む（米）Wilder Fieldsは、Targetの空き店舗を垂直農業に使用するため2020年に再開発に着手した。また、2020年8月シンガポール政府は、過剰な駐車スペースに対し、住宅やレストラン、屋内農場への転換を奨励することを発表した。

4. 展望：広がる環境制御型農業

環境制御型農業では、ロボットの開発、AIの活用、センシング技術の進歩により、これまでの「暗黙知」を「形式知」化し活用する農業が展開されようとしている。また、使われていない商業用不動産の増加に伴い、それらを利用した都市部での実装拡大が予想される。サーキュラーエコノミーの観点からは廃棄物の循環を可能にする技術を取り入れていくことが重要だ。例えば、生産量の増加に従い、包装のためにカットされるレタスの根の部分といった廃棄物の処理が課題となってくる。これら有機廃棄物の活用や雨水のリサイクルといった点も含めて環境制御型農業を設計することが必要になるだろう。生産、流通面の改善だけではなく、環境に対して低負荷であることをアピールできれば、都市型農業にとって新たなビジネス機会が広がる可能性がある。

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できるとされる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社及び三井物産グループの統一した見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社及び三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。