

農業の工業化技術

—植物工場の夢—

農業人口の高齢化、
後継者不足、
食糧自給率の低下……
農業をとりまく日本の情勢は
けっして楽観できるものではない。
もし仮に農業をもっと企業的な経営ができるものとして、
確立していくことができたなら、
そこに新たな若き後継者が
参入してくる機会は大きくなるだろう。
農業を工業のように
自動化・合理化するという発想は、
こうした農業の新たなスタイルを
生み出すうえでも
ひとつのきっかけになりうる
可能性を秘めている。

写真：野菜工場で青々と育つ葉菜（キュービーTSファーム）

いよいよ実用段階の野菜工場 一般への普及には 大幅なコストダウンが必要なコメ工場

オートメーション化された人工環境のもとで、農業生産物を栽培する野菜工場などの植物工場が、すでに一部で稼働を始めている。野菜の場合「露地もの」に比べ生産コストはかさむものの、外食産業など、企業向けに出荷することで十分に採算が取れるレベルにまで来ているという。完全無農薬が可能になり、栽培時間も短縮できるという植物工場の技術の現状をレポートする。

農産物のマスのプロダクションという発想

第二次産業の分野では若者の理工系離れが危惧されるようになって久しいが、実はそのずっと以前から農業後継者の不足問題に警告を発する声が存在していた。21世紀に日本の農業を支えていくだけの人材を確保するためには、年間1万人程度の就農者が必要と考えられているが、現状は、その半分にも満たない状況が続いているという。そうした状況のもと、農業人口の高齢化も他の分野以上に進んでいる。

農業を志す若者が減っている理由はいまさら述べるまでもないかもしれないが、やはりつらい労働条件、旧来からの農村的な共同体のわずらわしさ、そしてその結果としての嫁不足のような、「報われない」「文化的でない」イメージあるいは実態である。土にまみれ、日に焼け、きょうくつな思いをしながら働いて、収入は安定しない。

こうした旧来的なイメージの打破に挑戦するかのように、農業を事業として経営していこうとしている野心的な若い企業家農業経営者も増えてきてはいるが、なかなか大勢にはなりえないようだ。天候・気象条件などに大きく左右される不安定さも農業経営を難しくしている要因のひとつである。出来不出来はもちろん、市場動向によっては、頑張っただけの報いがないという皮肉な結果になってしまうこともまれではない。

いろいろと厳しい農業経営だが、もし農産物を、工業生産物と同様に安定的に均質大量生産できたとしたらどうだろうか。あらかじめ立てた計画から大きくは外れない範囲で安定生産できたとしたら、農業経営は見通しが立てやすくなり、むしろ実業としての農業が成立しやすくなるだろう。

植物工場という発想は、そうした現代的なマスのプロダクションのノウハウを農産物にあてはめられないかというところからスタートしている。そしてそのためのノウハウが現実的なものとして成立しつつある。

植物が育つためには、必ずしも土を要しない。光合成を行

うための炭酸ガスと光、それから養分、そして適切な温度が整えられればよい。これらの要素を人工的に作り出し、コントロールすることさえできれば、植物を育てることができ、その結果としての農産物を得ることも可能になるはずである。

炭酸ガスと温度は、コンピュータで制御することが可能だし、光は照明で与えることができる。養分は水に溶かして直接、根に供給すればよい。

完全無農薬が可能になる工場生産野菜

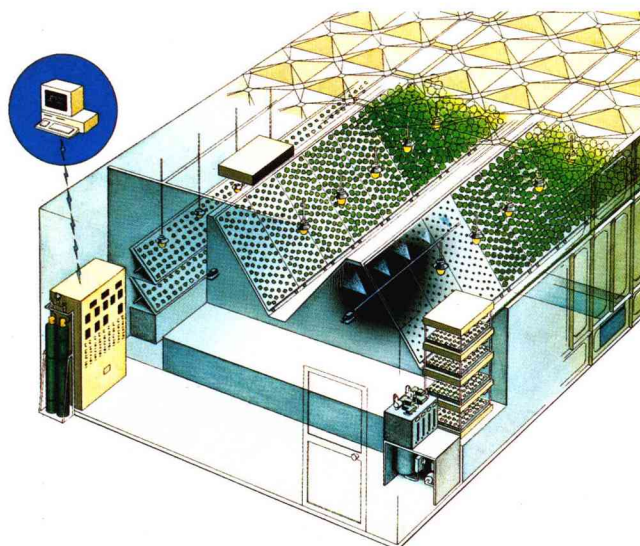
こうした植物工場による農産物生産は、実は品目によっては、かなり一般化している。もやし、カイワレダイコンである。この2品目については現在市場に出回っているものの、8～9割はすでに工場産のものとなっているほどだという。キノコ類、ミツバなどもかなりの部分が工場生産で市場に供給されているものが多い。これらに共通しているのは、生育の過程で強い光を必要としないという点である。

これがレタスやほうれんそうのような葉菜類となるとより強い光が不可欠となり、電気代の負担が大きくなる。トマトやメロンのような果菜類ではさらに強い光が必要となる。

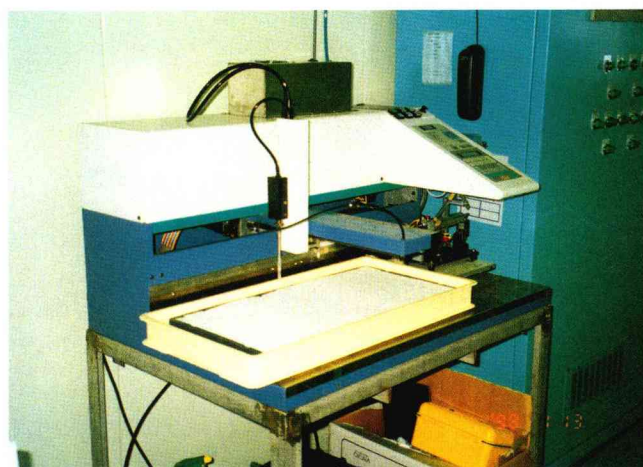
葉菜や果菜を人口環境で栽培する野菜工場のノウハウも、開発が進んでおり、一部では生産物がスーパーで売られるなど実用化が始まっている。だが、やはり「露地もの」と比べるとかなりコスト高になるため、どうしても価格に跳ね返ってくる。葉菜で青果市場での卸価格が場合によって3倍程度となってしまうのが現状だという。新しい技術がつきあたるコストダウンの問題が、ここにもある。

現在、出荷されている野菜工場産の葉菜類の場合、業務用などに市場を通さず出荷されているケースが多いようである。スーパーで売られているものも、おかしな表現かもしれないが「工場直送」にすることで、価格を1.5倍程度に抑えているようだ。

野菜工場ならではのメリットもある。たとえば、「完全無農



TSファームの概念図。



播種ロボットによる種播き。

「薬野菜」が可能になることである。閉鎖環境で、完全にコントロールされた人工環境の元で栽培を行う植物工場の場合、害虫や雑草がはびこることはありえず、農薬を使う必要がない。市場に出回っている無農薬有機栽培といわれる野菜のかなりの部分はマユツバだといわれているが、植物工場で作る野菜の場合に限っては、最初から農薬が不要なのである。また多くは土を使用しないため、低細菌環境で栽培されることになり、洗う必要がないほどだという。

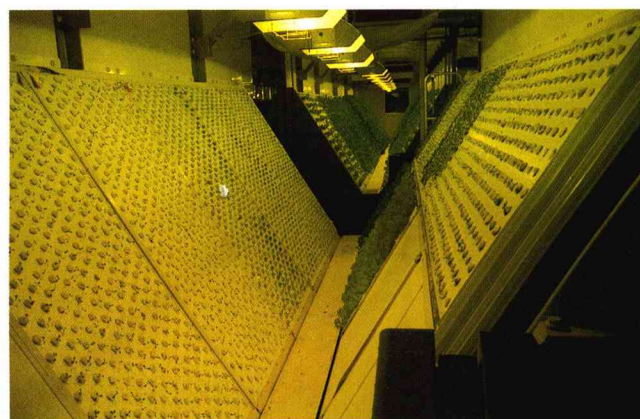
また野菜工場での作業は、軽作業が中心のためアルバイトやパートの労働力が使えるというメリットもある。泥にまみれることなく、週休2日も可能になる。店舗経営のような事業として、野菜づくりが可能になるのである。

クリーンルームのような清浄性で生産される野菜

白い専用のユニフォームに長靴と帽子を身に付け、エアシャワーを浴びる。茨城県のキューピー五霞工場敷地内にあるTSファームでは、まるで半導体のクリーンルームのような手順



育成中の苗床。



育成棚にセットされたサラダ菜。生長の段階ごとにスライドさせていく。



TSファームの制御室。

を踏んで栽培室内に入ることが定められている。害虫や病原菌から隔離するための密閉式植物工場になっているためだ。空気もエアクリーナーを通じて清浄化され、直接外気が入ってくることはない。

栽培室には高圧ナトリウムランプの照明がとまり、斜面に緑の葉菜がつつやと輝いている。葉はシミひとつない見事なもののばかりだ。室内は植物の生長に最適な環境に調整されてい



TSファームでの収穫風景。



野菜工場の収穫物。



五霞町にあるTSファームの外観。

るため、人にとっても快適である。

TSファームのTはトライアングルを、Sはスプレーを意味している。栽培面を三角形（斜面）にし、養分を溶かした水溶液をスプレーで根に吹き付けるといったノウハウを表したネーミングである。三角形にするのは省スペースのためであり、またスプレー方式は根の生長のために空気中の酸素を取り入れやすいように配慮されたものである。

完全人工光型のこの野菜工場では、サラダ菜が1カ月で育つという。通常の露地栽培で4カ月、ハウスでも3カ月はかかるから、3分の1から4分の1の時間で収穫ができることになる。

照明、温度、栄養の条件を整えてやることで、きわめて短時間での収穫が可能になるのである。

同工場では、現在1名の管理責任者と5名の女性パートで年間の売り上げが約5,000万円程度だという。設備費用が約1億3,000万円（500坪）かかっているという点では、投資効率はあまり高いとはいえない。キュービー植物開発センター所長で植物工場普及振興会（民間15社）の会長も努める赤木静氏は「せめて1億円以内に抑えられるようになればと考えていますが、それには規制緩和が必要ですね」と語る。野菜工場は農業用の設備なのだが、現状では建築基準法の適用を受けるため必要以上に設備コストがかさんでしまう傾向があり、より採算をとりやすくしていくためには野菜工場を視野に入れた新たな法的配慮がぜひ欲しいところである。

現状でよりコストパフォーマンスの向上をねらうなら、規模を大きくすることと、より自動化を進めて人の手を減らすことが考えられる。キュービーでは現在、五霞工場内のものの4.5倍の規模の直営工場を福島県白河市に建設中だという。この新工場では収穫後のライン自動化も図られ、よりいっそうのコストダウンが図られるという。

こうした規模拡大への試みは、野菜工場産の生産物に対して思いの外引き合いが多いことが引き金になっているという。「使いたいという引き合いは多々あるんですが、大口のユーザーさんには、十分に供給能力が追いつかないというのが現状なんです」（前出・赤木所長）。

工場直送でも1.5倍はする野菜に、なぜそれほど引き合いがあるのか不思議だが、要望の多くは外食や食品加工関連の業者からだという。これら食品業者にとっては、数十円の高い安いよりも、価格そのものが安定していること、そしてさらには品質や数量が常に安定供給されることのほうが重要なのだという。つまり定価格、定品質、定量生産という工場産野菜の性質は、きわめて企業のルールに乗せやすいのである。

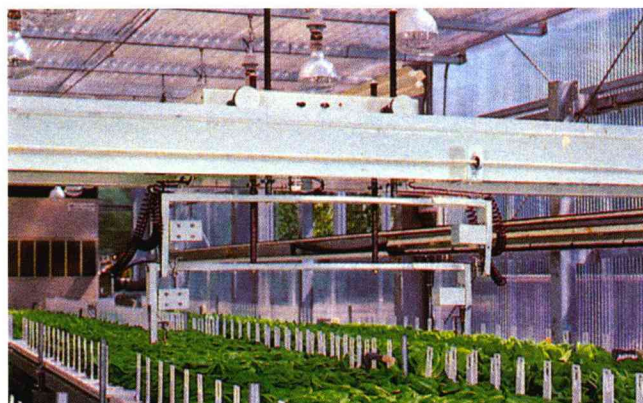
また工場産の野菜は、見た目でも明らかだが、虫食い、日焼け、腐れなどがまったくないといえるほどないため、捨てる部分がない。これはムダが出ないという以上に「加工しやすい」というマスプロダクションの場合の大きなメリットにつながるというわけだ。低細菌であることから、洗わずに加工することも可能であり、ドロが残っていたなどといったトラブルや菌が増殖した結果としての食中毒といった事態も起きにくい。

女性の職場進出や核家族化などによって、いまや野菜の需要の50%以上が外食・中食（惣菜・加工食品）などの業務・加工用になっているといわれ、その意味では、工場産野菜の潜在的マーケットは小さくないといえる。

むろん、末端の消費者にとっても、完全無農薬の野菜が手に入るという意味では、魅力は大きい。



川鉄ライフ式野菜工場。



三菱重工の野菜工場。ロボットによる株間の調節が行われている。



電中研式野菜工場（2段式Uターン方式）。



電中研式野菜工場（3段式ワンウェイ方式）。

完全人工光型と太陽光併用型

キューピーのほかにも植物工場普及振興会会員各社は、それぞれに独自のノウハウを盛り込みつつ野菜工場の研究を行っており、そのうち数社は事業ベースで採算がとれる段階にきているという。キューピーの工場は完全人工光型だったが、全体としては太陽光との併用型のほうが多いようである。

川鉄ライフの西の宮アグリセンターは、この併用型の代表例といえるだろう。防虫網に守られた開閉式天窗と天井にめぐらせた保温用、遮光用のカーテンを制御して、好適な環境を維持するしくみになっている。併用型の利点は、自然の太陽光を利用することでエネルギーコストを節約できる点にある。また気化潜熱を利用して冷房コストを極力抑える工夫がされている。

同じく太陽光併用型を採用しつつ生産工程を完全自動化したのが三菱重工のシステムで、完全密閉型にブラインド状の自動遮光装置が組み合わされ、収穫や包装まで自動化されている。管理と出荷以外に人手がかからず、まさに小人数で経営されるオートメーション化された工場のイメージに近い。

人工光型と併用型をさらに複合化したような形式が環境リサーチの電中研式野菜工場で、2段式装置の上段は併用方式によってハウレンソウなどを栽培し、下段ではおもに白色蛍光灯を用いてサラダ菜、チンゲンサイなどを栽培するようになっている。

太陽光併用型は、電力だけでなく太陽という自然のエネル

ギーを利用できる点で魅力がある。ただし空調コストがあるため、太陽光併用型がかならずしもコスト面で有利とはいえない。夏の陽射しの強い時期には、逆に冷房が必要になる場合もあるからだ。また装置面では、完全人工光型のほうがよりシンプルで制御もしやすいなどの利点がある。均質・定量生産という点にこだわるなら、完全人工光型はあつかいやすいし、併用型では季節ごとの日照条件などを生かして、作づけを変えたりすることなども可能になる。どちらの方式がよいかはケース・バイ・ケースのようである。

人工光源は、今のところ高圧ナトリウム・ランプが主流になっているようだが、電力消費量が格段に低い発光ダイオードを使用する研究も行われている。この研究が進めば、ランニング・コストをもっと圧縮することが可能になるとみられている。

コメでも研究が進む植物工場

植物工場で栽培できるのは、野菜に限られてはいない。東海大学開発工学部の高辻正基教授は、学内に設けた完全人工光型の植物工場では、コメの生産に成功している。ただし現状、生産コストがキロあたり2,000円と、かなりかかってしまうため、市場に出せる段階ではない。味は、水田でつくったものに負けないという。興味深いのは、野菜工場でもきわめて短期間での収穫ができたように、コメの場合にも年に4回の収穫が可能になるという点である。単純計算すれば3か月で生産物が得られるということになり、いわば急を要する場合の食料不足



三重県にある神前ライスドームの全景。52m × 19m × 5m。



年3作をめざしての寒中での田植え風景。



6月下旬のライスドームの中。すでに収穫時期を迎えている。

に対応できるポテンシャルをコメ栽培工場は秘めていると考えられるだろう。

完全な植物工場とはいえないものの、日照により日長を調整、気温・水温を自動制御するという、太陽光併用型の植物工場に近い形式のコメ栽培をすでに実用化している企業もある。農業資材会社・東海物産の北野弘室長らが研究しているエアドーム式コメ生産施設ライスドームがこれにあたる。エアドームは、野球場の屋根構造で知られるように、空気を吹き込んで構造を支えるもので、ライスドームの場合、農業用ビニールをエアで膨らませ、ネットで押さえて形状を保つ、いわ

ゆる網膜空気構造が採用されており、柱などの構造材はまったく使われていない。ドームの中は普通の水田で、大型機械も自由に稼働できるなど、いわゆる植物工場とは、少し異なる。

北野氏らは、このライスドームを使って2～3月田植え・6～7月収穫という通常より2～3か月も早い米作に成功した。生産コストはキロあたり1,500円と決して安くはなかった。それでも季節はずれの「新米」を求める高級料亭、ホテルが“超”高級米として購入するなど、現状でのニーズがあるという。

現在、ライスドームは三重県、山形県、岡山県と石川県の2カ所、計5カ所で稼働しており、年間3作の周年栽培達成をめざして研究が重ねられている。今のところ「ドーム米」は超高級品だが、研究の進展とともにコスト・ダウンのノウハウが進み、食糧生産の有効な手段のひとつに育ってくれることを期待したい。

農業の将来のために

バブルが弾けてなお飽食のまっただなかにある日本だが、世界的視野で見た場合、むしろ食料危機は、すぐそこに近付いてきているといわれる。2030年には世界の人口は85億になると予想されるが、食料生産能力はこの人口増加に追いつくことができず、途上国の食料危機はさらに深刻化するとみられている。とくに中国やインドをはじめアジア諸国の急激な食料需要増加が、穀物マーケットにもたらすインパクトは小さくない。「金を出しても買えない時代」が来ないとは、誰も確言できないだろう。自給率低下と農業人口の高齢化という事態に無策のまま、こうした時代に突入していくことは、不安なことであるには違いない。

植物工場の技術は、こうした危機に対する備えのひとつとしての可能性を秘めているといえなくはないだろう。ただし普及が進んだ場合、大量の電力を消費するという問題が残される。工業のみならず、農業にもさらにエネルギーが投下されねばならないということになれば、エネルギー事情はさらに不利な方向に展開していくことも予想される。

エネルギー面での心配をのぞいて考えれば、完全無農業が可能な植物工場は、大量の農薬を使用する現在の農業形態に対するアンチテーゼとなりうる性格ももっている。また食糧不足などが起きた場合に、年間で何作もの穀物生産が可能になるというメリットは、魅力的である。

そして何よりも冒頭で述べたように、農産物を工場生産化していくことは、農業そのものを事業として成り立ちやすくする可能性を秘めており、「農業離れ」を克服して新たな農業従事者を増やしていくという局面で希望が持てるのではないだろうか。

〔取材協力・写真提供：川鉄ライフ(株)、(株)環境リサーチ、キュービー(株)、東海物産(株)、三菱重工(株)〕

農業労働の合理化に貢献 研究が進む農業用ロボットの技術

植物工場は、いわば栽培場そのものを人工化し、オートメーション化してしまおうという発想に立つものだったが、農業全般を視野に入れて考える場合、それだけではカバーしきれない部分が大きいだろう。農業労働の合理化という視点にもどって全体を見渡すとき、可能性として浮上してくるのは、ロボットの適用である。岡山大学で研究されている人に代わって農作業を行うことのできるロボットの実例に、その可能性と将来性を探ってみる。

難しい農業用ロボット

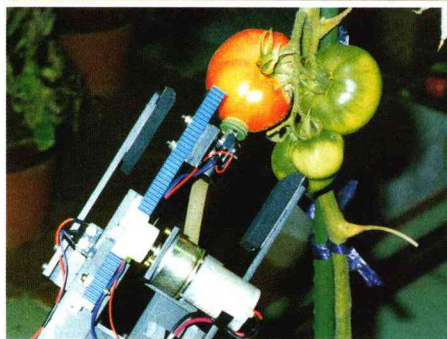
農業分野での高齢化と後継者不足対策に、技術が直接寄与できる方法のひとつとして、機械化という考え方があるだろう。3K労働（キツイ、キタナイ、キケン）をいというのは、農業分野に限ったことではなく、工業分野でもロボット化によって3K的な労働を減らしてきた歴史がある。もっともこの場合は、3K労働をなくすというよりはいかに省力化を進め、人手を減らすかが、経営上の重要課題となってきたということがある。

農業の分野でも、さまざまな形で機械化の研究は行われてきたが、俗に「機械化貧乏」などといわれるように、付加価値性が低く、販売価格が不安定な農業生産の場では、思い切った機械設備への投資がマイナス結果につながることも少なくなかった。しかし、就労者が減少し、高齢化も進んでいる現状を考えれば、機械による省力化をなんとか成功させていかざるをえないという側面もある。しかし、ひと口に機械化とはいっても、対象が生物であるという点で、従来の工業とは違った難しさをはらんでいる。

岡山大学農学部の近藤直助教授の研究室では、こうした農業分野へのロボット導入のための研究が行われている。ロボットの用途としては、果実などの収穫用が中心となっており、台車で移動しながら機械の腕を伸ばし、実を集めていくといった形式のものが試作されている。現在までのところ、ハウス内栽培作物を対象としたものでは、トマト、キュウリ、イチゴ用の収穫ロボットが、また圃場で活躍できるものとしては、ブドウの収穫用ロボットが実際に研究用として作られている。また収穫以外では、キクなどの花き類の植苗を行うロボットなどが考案されている。

カメラで認識、マニピュレーターで収穫

鍵になるのは果実部分の認識方法だが、トマトのように色の違いが出るものは、カラーテレビカメラを使用し、RGB成分の比率を計算することによって、熟した実のみを識別するノウハウが採用されている。ロボットの目によって熟した実を見つけ

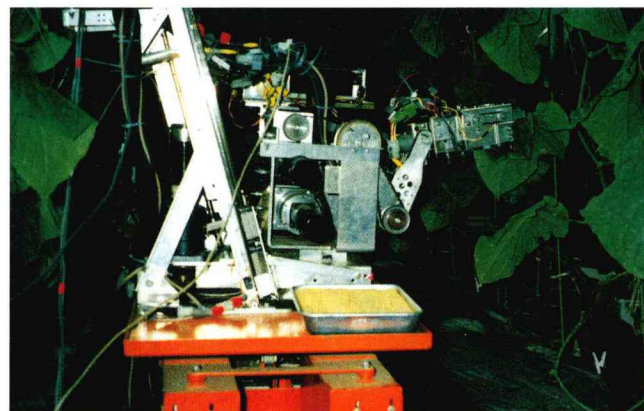


トマト収穫ロボット。
果実をつかんで「もぎとる」ことができる。

たら、そこに腕を伸ばし、収穫する。トマト果実のように丸く大きなものは、マニピュレーター（ロボットアーム）がつかんでひねるという運動を行う。いわば「もぎとる」という作業をロボットが代行するわけだ。イチゴやミニトマトのような小さなものは、マニピュレーターの先に電気掃除機のような吸引チューブをセットし、実を吸い込んでおいて茎をカットする。



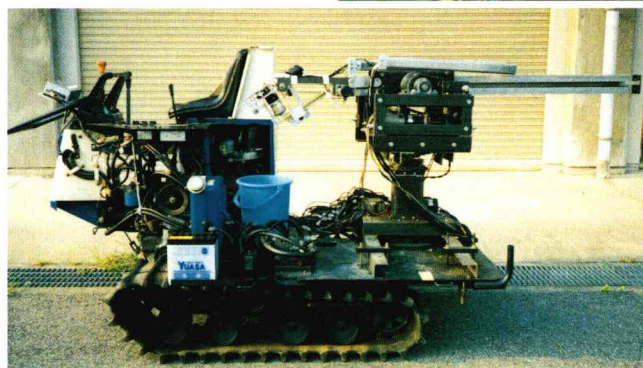
ミニトマトやイチゴの収穫ができるロボット。電気掃除機のようなパイプで吸い込んで収穫する。



キュウリ収穫ロボット。実をつかんでから茎をカットする。



ブドウ収穫ロボット。屋外を走り回れるようクローラーを備えている。



キュウリの場合は実もグリーンであるため、カラーカメラによる識別は難しい。ただし、果実部分は茎葉にくらべて近赤外線領域の反射率が高いという性質がある。そこで白黒CCDカメラに光学フィルターを組み合わせることで、実を探し出すノウハウが工夫されている。また、キュウリの場合はトマトのような「離層」がないため、もぎとることが難しく、つかんだ後に茎をカットする方法で収穫をする。

ハウス内の移動には4輪駆動・4輪操舵式の走行装置が用いられ、畝間を移動しながら順に収穫をすませていくように考えられている（愛媛大学他）。

ハウス内のような制御環境内でのロボット化は、圃場に比べるとやさしく、実用化も比較的早いと考えられているが、やはり屋外での自動化技術の確立もおそろそにはできないテーマである。近藤研究室では、こうした圃場でのロボットとしてブドウ収穫用のものを研究開発している。

圃場の場合ハウス内よりも広く、段差も考えられることから、走行装置にはクローラー（履帯型移動機構）が採用されている。果実の認識には3次元視覚センサー（島根大学）を用い、成熟した果実のみを見分けるノウハウが使われている。これはLEDやレーザーを対象物に当てて、反射された光をセンサーで計測して距離や位置を確定するもの。3次元での画像情報が得られるため、柵から下がったブドウの房を認知するのにも適している。収穫の手順としては、ロボットのフィンガーが茎のつけねの穂軸を押さえ、カッターで切りとる。このロボットは

エンドエフェクター（ロボットの手先）を付け替えることで収穫以外にも、袋かけ、摘粒・整房、散布などを行えるなどの汎用性を備えているという。

こうしたロボットは、主に日本のような小規模な農場の効率化に適していると考えられているようだ。というのも、アメリカやカナダなどの大規模農場では、外国からの安い季節労働力が容易に確保できるため、こうしたシステムはあまり効率的とはいえないからである。むしろ、GPSなどを用いて収穫用の大型機械を縦横に走り回らせるような研究が実用的だという。

比較的小規模経営の農場での合理化という日本の特殊な事情のもとで、こうしたロボット技術が有効になってくとも考えられるだろう。日本の農業がロボットに支えられる日は来るのだろうか。

【取材協力・写真提供：岡山大学農業システム工学研究室】