



第59回

# 農学系

「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準 農学分野」(日本学術会議)によれば、農学は、「生命科学を中心的基盤にしつつ、幅広い分野の自然科学、さらには人文・社会科学をもその基礎とする『総合科学』である」とされ、非常に幅の広い学問である。

また、近年は、農学系の大学・学部・学科の新増設も行われており、内閣府の統合イノベーション戦略でも食料・農林水産業について言及されるなど、教育・研究においても、政策的にも注目されている。

そこで今回の「注目の学部・学科」では、農学系の研究・教育の現状について紹介する。

まず、概説では、これまでのあゆみを振り返りつつ、農学に関する現在の課題と研究、そして新設学部でどのような教育が実践されているかについて、2019年に新設された、福島大学農学群食農学類の金子信博先生にうかがった。

研究事例では、「バイオテクノロジー」「気候変動」「第6次産業化」「スマート農業」等のトピック、キーワードをもとに、それらと関わる農学の研究がどのように進められているかについて紹介する。

## Contents

### ◆概説

- 農学の現状と新設学部での教育 …………… p68  
福島大学 農学群 食農学類  
金子信博 教授

### ◆研究事例

- 植物育種学とバイオテクノロジー …………… p72  
東京農工大学 農学研究院生物生産科学部門  
山田哲也 教授
- 森林と気候変動 …………… p74  
近畿大学 農学部 環境管理学科  
松本光朗 教授
- 第6次産業化 …………… p76  
立命館大学 食マネジメント学部  
松原豊彦 教授
- スマート農業 …………… p78  
北海道大学 農学研究院  
基盤研究部門 生物環境工学分野  
野口伸 教授

概説

農学の現状と新設学部での教育

# 大きな転換期を迎えつつある農学 フードチェーンをキーワードに教育を推進

福島大学 農学群食農学類 金子 信博 教授

Point

- 農学は、生物資源を利用して主に食料を生産する技術を追求する科学
- 地球環境や食料安全保障などを考慮した農業のあり方を追求
- 地域の要望を受け、東日本大震災をきっかけに福島県初の農学系が誕生



## 食料の効率的な生産のために あらゆる知見を総合する農学の世界

人類は、農作物や林産・水産・畜産物などの生物資源および、それらを加工した食品を食料としている。農学は、このように生物資源を利用して主に食料を生産するための知見や技術を追求していく科学として位置づけられている。そのため、扱う範囲は広大で、農作物の栽培方法や生き物の飼育・養殖方法などに関する技術開発から、農作物や水産・畜産物などを収穫するための道具や機械の開発、栽培や畜産、養殖などに必要な施設・設備の整備、収穫物の貯蔵、加工・保存方法の開発、流通・販売の効率化など、研究領域は多岐にわたる。農学が総合科学だとされる所以だ。

「生物資源を研究する流れとして大きく寄与したのが遺伝子解析の方法です。生き物はアナログの世界で生きていますが、面白いことに遺伝子はデジタルの世界でした。そのため情報科学と親和性が高く、遺伝子解析技術が進んだことで、生物資源を効率的にコントロールすることが可能になりました。私たちが食料とするのは、遺伝子が発現した結果として得られる農作物や肉、魚なのですが、遺伝子にアプローチすることで品種改良を促進したり、新しい機能を付加した食品を開発したりする研究が非常に発展しています」と金子信博教授は語る。

ただ農学の研究者は、農学という枠にあまりとらわれていないことが多い。たとえば遺伝子解析の研究は、医学や基礎的な生物学とも共通しており、農学分野だけで

なくそれらの学問分野と一体になって研究している場合も多い。また近年は、ICTやIoT、AI、ロボット技術などを駆使した「スマート農業」が提唱されているが、これらに必要な技術も、工学や情報科学などの領域と重なっている。

## 生産量増大に寄与した「緑の革命」が 環境問題や健康問題を引き起こした

20世紀の農学は、科学技術の進展とともにめざましい成果をおさめた。化学肥料、農薬、灌漑設備・施設、農業機械、遺伝子に関わる品種改良をうまく組み合わせることで、単位面積あたりの収穫量を飛躍的に増大させた。とりわけ1940～60年代にかけての取り組みは「緑の革命」とも呼ばれ、当時の発展途上国の人々を飢餓の恐怖から救うことに成功したといえる。

「増大する地球の人口に対して、常に食料危機問題が取り沙汰されますが、実態は逆です。農学の発展で食糧生産力が高まったために、これだけの人口を養うことができているのです。生産物を無駄にせず全量をうまく配分することができれば、現在の食料生産量で約2倍の人口を養うことができるとされています」（金子教授）

食料の生産量を増大させてきた一方で、近年の農業は新たな問題に直面することになった。化学肥料や農薬の大量使用によって、環境汚染や健康被害を引き起こしていることが明らかになってきたからだ。農業に関しては、日本では残留農薬の問題がクローズアップされているが、実際には農場で農薬を使う農家の方がはるかに深刻な健

康被害を受けている。また、畜産の現場では抗生物質を多用しているが、人間の病院と同様に、抗生物質への耐性を持った菌の発生を引き起こしている。

「技術を駆使して、狭い土地で、早く効率的に大量に生産するということが果たしていいのかということが、21世紀の農学が立ち向かうべき大きなテーマの1つになっていると思います」(金子教授)

### 小規模な家族農業こそが効率的という 価値観が世界中で共有されはじめた

その結果、主に食料生産に目を向けてきた農学だったが、環境問題にも目を向ける必要が生じた。

「地球温暖化は人類が排出したCO<sub>2</sub>が原因なのは明らかですが、化学肥料や農薬を大量に使い、耕地を大規模化して効率的に生産を行う現代農業が温室効果に与える影響は、世界的に見れば24%程度だとされています。自然にやさしく見える農業が、実は気候変動を引き起こす要因にもなっているのです」(金子教授)

生産性を高めるには、単位面積あたりの生産量に関わる「土地生産性」と、生産に関わる人をどれだけ少なくするかという「社会生産性」、そして、環境に負荷をかけずに生産量を確保する「環境生産性」の3つを高めればよい。このうち社会生産性は、「スマート農業」などで省力化、無人化を図れば高くできるが、土地生産性と環境生産性はトレードオフの関係で、どちらかを高くすれば、どちらかを犠牲にしなければならない。

こうした状況を受けて、FAO(国際連合食糧農業機関)やEUなどでは、最近、大規模農業から小規模な家族農業<sup>(注1)</sup>へとシフトしはじめています。たとえばEUは、2019年頃から「欧州グリーンディール」と呼ばれる政策の一環として、全体で2030年までに有機農業の農地割合を25%以上に拡大、農業の使用量を半減といった目標を掲げている。とくにフランスでは「アグロエコロジー」<sup>(注2)</sup>を掲げて、きめ細かく人が関わる小規模農業への支援を手厚くする政策誘導を行っている。アメリカや日本も同様な政策転換へと舵を切っている。

「小規模な家族農業は非効率だと思われがちですが、

実際には日本だけでなくアメリカやヨーロッパも9割以上が家族経営です。家族農業には人手が必要で、それだけ雇用を創出する効果が見込まれます。作物の生育環境を良好に保つ作業は里山整備や水路整備などにつながり、環境保全にも資することになります。小規模な家族農業の方が、実は総合的に考えた場合、より効率的だと考えられるようになってきたのです」(金子教授)

農学の世界は、これまで各領域が主に効率を上げるために研究を行ってきたが、今後は農業の営みを地球環境全体のなかに位置づけて、俯瞰的に考える必要が出てきている。その意味で、農学は現在大きな転換期にあるといえよう。

### 福島県初の農学系学部学科として 2019年4月に誕生

以上のように大きな流れのなかにある農学だが、大学での教育はどのように行われているのだろうか。

近年、農学系の学部学科を設置する大学が増えている。SDGsや生物多様性、食育などが社会的に注目されることが多くなり、食や環境への意識から農学に興味を抱く高校生が増えたことも要因の1つだろう。

福島大学農学群食農学類は2019年に新設された。福島県は全国でも有数の農業県だが、食農学類誕生以前は、県内には農学系の学部学科が存在せず、東北唯一の空白県だった。そのため、以前から農学部の設置を求める声はあったが、東日本大震災をきっかけにその声が一気に高まり、ようやく設置にこぎつけた。

後発である以上、他の農学系学部にはない特色が必要だ。その1つが「フードチェーン」という考え方を取り入れたことだった。

「現在、食品に関しては、ICT技術の発展などにより、どこで誰が生産して、どんな加工を行ったかがわかるようになっており、そこに高い価値を見出す動きができています。消費者が生産者のことをよく知った上で消費に移るようになってきたわけです。そこで本学では、食品が生産者から消費者まで流れていくプロセス(フードチェーン)に沿ってコース設定を行い、しかも、相互

(注1) 家族農業：労働力の過半を家族労働力でまかなう農林漁業

(注2) アグロエコロジー：農業生態学とも訳される。生態学に基づく農業生産に加え農家や家畜の権利を尊重し持続可能な農業をめざす新たな「総合農学」

に学び合えるカリキュラムを設定しました」(金子教授)

すなわち、上流部に農地や森林の環境を研究対象とする「生産環境学コース」、中流部に高品質な農作物の栽培を追求する「農業生産学コース」、下流部に生産物を加工して高付加価値化を図る「食品科学コース」を設置し、さらにフードチェーン全体を視野に入れた「農業経営学コース」の4コースだ<図1>。コースへの所属は2年次後期からだだが、以後も4コースの学生が相互に混ざりながら学ぶ仕組みがあり、どの学生もフードチェーン全体を把握できるような教育体制がとられている。

### 必修の「農場基礎実習」を通して フードチェーン全体の基礎を学ぶ

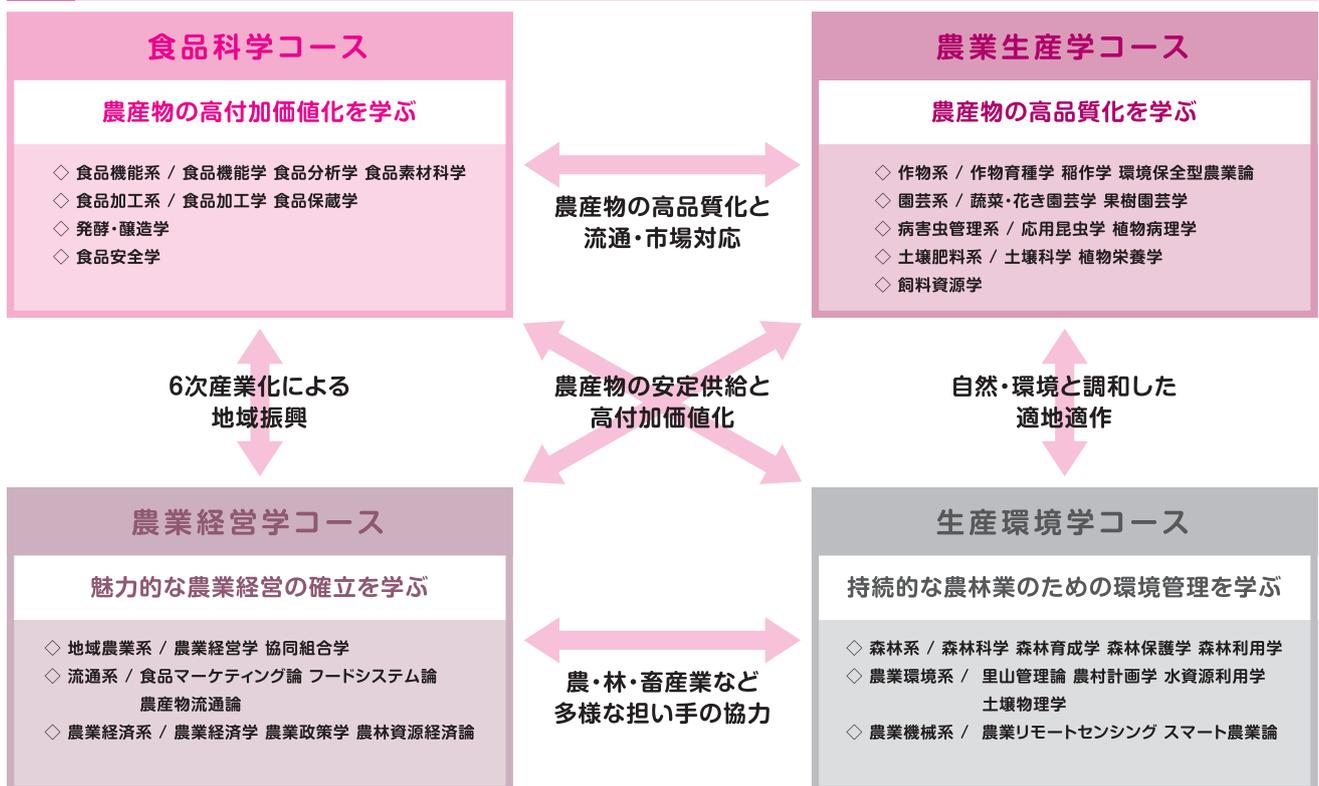
もう1つの特色は、実習に力を入れている点だ<図2>。最初の実習が1年次の必修科目「農場基礎実習」で、前期、後期合わせて1年間のプログラムが組まれている。内容は米の田植え(手植え)から収穫、トラクターの運転や無人運転の実践、野菜の栽培、果樹の栽培、食品分析、経営分析などで、フードチェーンに関わるすべての領域を一通り経験することになっている。

「たとえば私は森林を担当していますが、樹木の識別からドローンを使った環境評価なども行います。一般に農場実習は、栽培などの分野を専攻した学生が、専門に入ってから履修するケースが多いのですが、本学では全学生が最初に農学の幅広い分野の基本的な実習を経験します。ですから学生の方が教員よりも、フードチェーン全体を広く理解しているかもしれません」(金子教授)

2年次前期には「食農情報処理演習」があり、1年次の実習の成果を踏まえて、必要なデータの収集や加工、活用などについて実践的に学ぶ。そして、いよいよ2年次後期から4つのコースのいずれかを選択する。

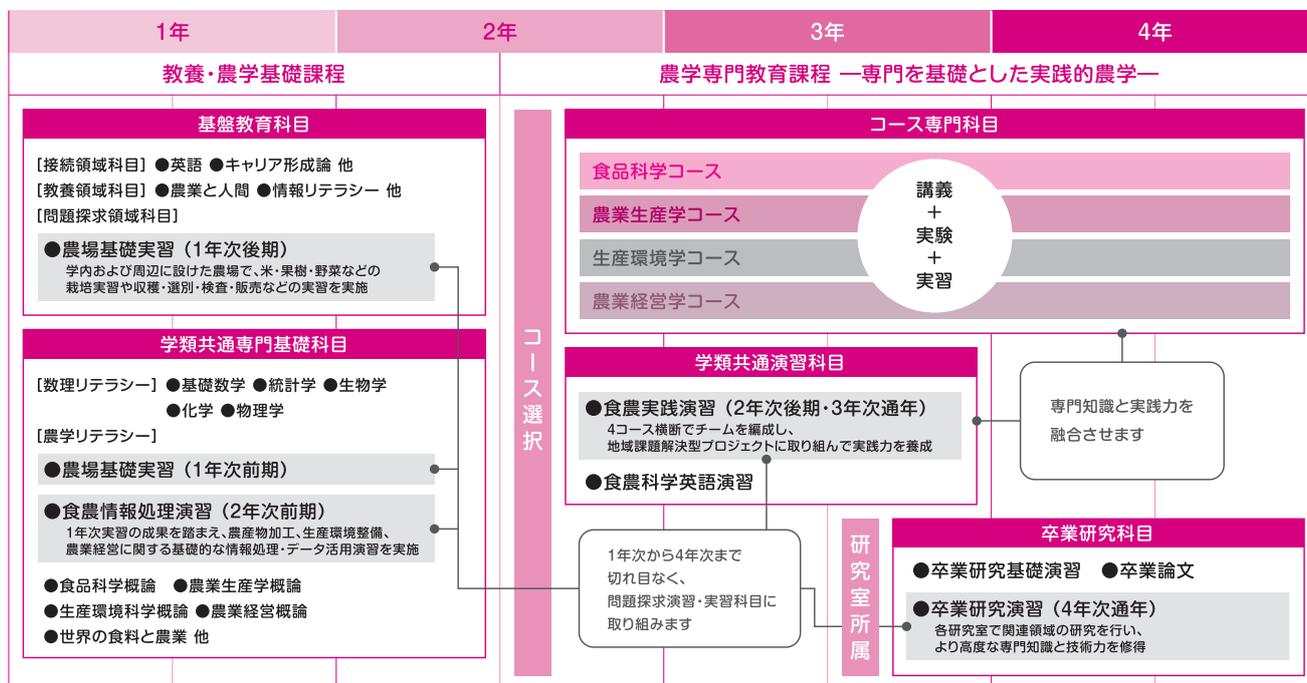
「1年次の『農場基礎実習』で全員がフードチェーンについて知ってからコース選択を行うため、多少の人気の有無はあるものの、かなり納得のいくコース選択ができています。入学時点では、『食品科学コース』を希望する学生が多いのですが、多くの学生は農業体験がほとんどなく、農場実習を体験すると農業の現場をかなり新鮮に受け止めているようです。その上で、自分の適性や興味、将来をよく考えて選択するため、ほぼ希望通りのコースに行くケースが多いようです」(金子教授)

図1 履修コースの概要



(金子教授 提供)

図2 カリキュラム体系イメージ



## 4コースの学生がグループとなり 自治体で学ぶ「食農実践演習」

コースに分かれてからも実習は続く。同大学では学生・教員・地域が一緒になって学ぶ農学実践型教育を標榜しており、その代表的な実習科目が「食農実践演習」だ。現在、7つの自治体でプロジェクト型の実習が行われているが、ユニークなのはその費用を自治体が全額負担していることで、全国でもあまり例がないという。

「食農実践演習」は2年次後期から3年次後期まで開講され、学生は1年半、自分が担当する自治体に通うことになる。プロジェクトメンバーは、4コースの学生が必ず混ざることになっており、全部で10～15人ほどで混成チームをつくる。環境の学生も栽培の学生も一緒になって地域の課題に向き合うわけだ。プロジェクトは、基本的には学生主体で行い、そこに全教員が分担して指導を行う形だが、プロジェクトで扱うテーマは、自治体からこんなことに取り組んでほしいと要望されるケースもあれば、学生が提案することもあり、さまざまだ。

「地域にはそれぞれの課題がありますが、農家の構成

や自治体の考え方、農業生産や販売といった課題は共通しています。また、中間発表や全体発表は関係者全員を招いて行い、他地域の様子や考え方などについて全学生が共有できるようになっているため、1つの地域の課題に向き合いながらも、フードチェーン全体に関わる問題意識を明確にすることができると考えています。1年次の実習と合わせて、農学の各領域と、地域課題の双方に深く関わることができるため、学生はそれぞれの地域の農業事情にかなり詳しくなるはずですよ」（金子教授）

卒業生が出るのは来春だが、さまざまな企業・団体含めてフードチェーンの各所への進出を希望しているとのことだ。

なお、1期生卒業に合わせて、同大学では大学院「食農科学研究科」の設置が認可された<sup>(注3)</sup>。

「近年は農業の魅力が見直されつつあり、『半農半X<sup>(注4)</sup>』のような働き方も注目されています。ですから大学院では、社会人のリカレント教育も視野に入れつつ、大学院進学を前提に食や農業について考えを深めたい高校生の受け皿として注目されるよう、教育内容の充実を図っていきたいと考えています」（金子教授）

(注3) 募集要項 [http://nyushi.adb.fukushima-u.ac.jp/recruitment/Files/2022/09/01\\_R5\\_S\\_in\\_yoko.pdf](http://nyushi.adb.fukushima-u.ac.jp/recruitment/Files/2022/09/01_R5_S_in_yoko.pdf)

(注4) 半農半X…小さな農ある暮らしをし、天与の才を世にいかす生き方、暮らし方

植物育種学とバイオテクノロジー

# 作物の生産性と品質の向上、環境問題に貢献する植物育種学分野でのバイオテクノロジー

東京農工大学 農学研究院生物生産科学部門 山田 哲也 教授

Point

- 組織培養と遺伝子組換え、ゲノム編集が育種の代表的バイオテクノロジー
- モデル植物で確認できた遺伝子発現の仕組みを一般化し、社会実装をめざす
- 生産性向上や高品質作物の創出、グリーンイノベーションがキーワード



## すでにさまざまな作物で実用化されている植物育種学におけるバイオテクノロジー

バイオテクノロジーは、農学に限った技術ではありませんが、農学の植物育種分野で盛んに研究が行われています。植物育種というのは、利用価値の高い植物（品種）を人工的に作り出して増殖することであり、主に3つのバイオテクノロジーが利用されています。

第1は、植物組織の一部を切り取り、容器のなかで培養して人工的に育成させる「組織培養」と呼ばれる技術で、現在ではウイルスフリー苗（無菌苗）を作る技術として定着しています。自然環境下で植物を栽培すると、いろいろなウイルスに感染し収量が低下します。特に栄養繁殖性の植物では、次世代にもウイルスが受け継がれるため、感染が急速に拡大します。そこでウイルスフリー苗を使って、ウイルス感染の拡大を抑制し、収量を回復しようというわけです。

組織培養に使うのは、植物の成長点（頂端分裂組織）です。成長点の細胞は活発に分裂していてウイルスが増殖できないとされており、それを無菌の培地で培養、成長させることでウイルスフリー苗を作るわけです。イチゴやサツマイモ、ブドウ、キク、カーネーションなどでウイルスフリー苗が広く使われています。

第2は、人工的に新たな遺伝子を導入した生物を作り出す「遺伝子組換え」技術です。この技術により、通常なら交雑しない生物の遺伝子を作物に導入することが可

能になりました。現在では、除草剤耐性や害虫抵抗性など生産性を高めるのに必要な性質を付与するために使われています。

その発展形が「ゲノム編集」技術です。既存の「遺伝子組換え」技術と違い、ある生物がもともと持っている遺伝子の情報を書き換え、その働きを改変することができます。アメリカではオレイン酸の含量を高めたダイズ「カリノー」、日本では血圧上昇を抑え睡眠の質を高める効果を持つ機能性成分GABAの含量を高めたトマト「シリアンルーージュハイギャバ」が商品化されています。

第3は、異なる2つの植物の細胞を、細胞壁を取り除いて融合させ、両方の染色体を持った雑種を作る「細胞融合」です。トマトとジャガイモを融合させた「ポマト」や、レッドキャベツとハクサイを融合させた「バイオハ克蘭」などが有名です。実用化されているものは少ないのですが、新たな品種を作り出すための素材（育種素材）としての利用が期待されています。

## ゲノム編集技術により花持ち性の優れたアサガオを創出

私は、ゲノム編集技術を使って、花持ち性の優れたアサガオを作り出す研究を行っています。アサガオは花卉がしおれると観賞価値が下がるタイプの植物であり、バラやカーネーションなども同じタイプです。アサガオを研究した結果、花卉のしおれが花卉細胞のプログラム細胞死<sup>(注)</sup>によって生じることがわかりました。このプロ

(注) プログラム細胞死：細胞内の遺伝子にコードされたプログラムにより、特定の時期に特定の場所で自発的に誘導される細胞死のこと

グラム細胞死を起こす遺伝子を突き止め、その働きをゲノム編集により抑制することで、花持ち性の良い品種を作り出せる可能性があります。

アサガオは江戸時代に品種改良が進み、現在でも約1,000種類の品種が保存されています。そのなかには2時間でしおれる品種もあれば24時間咲き続けている品種もあります。これらを遺伝子レベルで比較すれば、プログラム細胞死に関与する遺伝子が突き止められるはずで、候補遺伝子もいくつか見つけているため、まずは花持ち性の

の良いアサガオを創出し、他のしおれるタイプの植物にも応用できればと考えて研究を進めています。

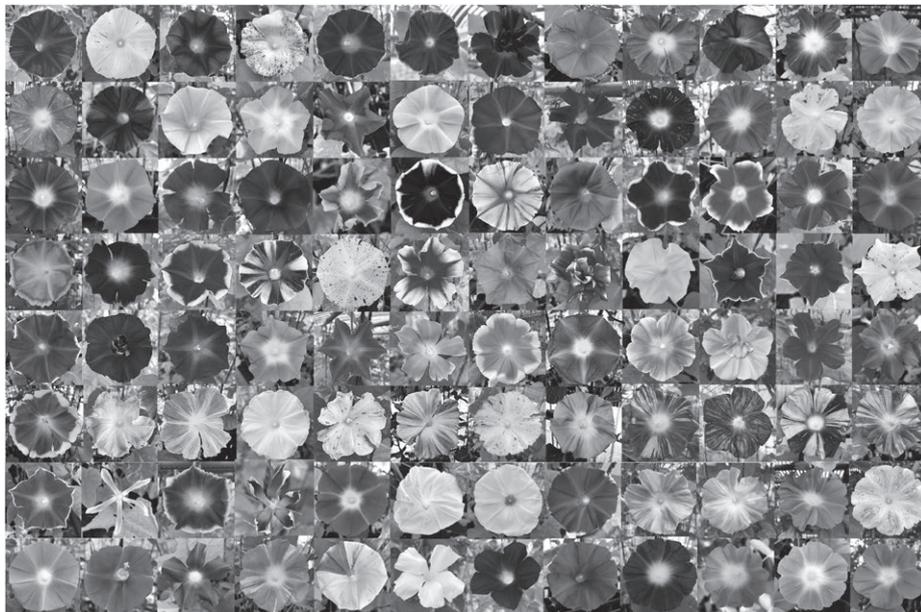
このほかにも、低温や高温、塩害といった環境ストレスに強いイネを創出しようと、環境ストレス耐性に関係する遺伝子の探索を行っていますし、微生物を使ったバイオ肥料の研究も行っています。バイオ肥料は、品種によって効果が出たり出なかったりする問題があります。そこで効果を高く発揮するために必要な遺伝子の探索を行っています。その遺伝子が見つければ、ゲノム編集技術で遺伝子を置き換えることで、どんな品種でもバイオ肥料の効果が期待できるからです。

植物育種学の世界では、このように生産性や品質の高い品種を創出する目的でバイオテクノロジーが使われています。もちろん実験室のなかだけで完結する研究ではなく、社会実装につながるような研究をめざしています。そのため、さまざまな研究機関や農業試験場、種苗会社などとも連携しながら研究を続けています。

### グリーンイノベーションをキーワードに 環境問題の解決に質する技術開発も

食料の効率的な生産や高機能化に向けての努力はこれまででもかなり研究されてきましたから、さらなる生産性向上や高機能化を図る技術開発は、それほど簡単にいく

写真 プログラム細胞死に関わる遺伝子を探索するために使用しているアサガオ



(山田教授 提供)

とは思っていません。どんな遺伝子がどんな働きをするかということについても、遺伝子全体から見ればほんのわずかしか解明されていないのが現実です。

ですからバイオテクノロジーを育種学の研究に応用しようとするれば、まずは対象とする生命現象のメカニズムを明らかにし、その現象に関わる遺伝子を突き止めるための基礎研究が重要になります。その意味では、大学の果たす役割は非常に大きいと思っています。

今後の育種学に求められるのは、生産性や品質を向上させた植物の創出だけでなく、グリーンイノベーションに関わる領域、すなわち環境問題の解決に質する植物の創出です。たとえばイネを水田で栽培すると二酸化炭素よりも温室効果の高いメタンガスが土壌から排出されることが知られているため、メタンを出しにくいイネの研究が行われているほか、土壌汚染物質を植物に吸収させて回収するという、バイオレメディエーションの研究も進められています。

さらには、バイオエタノールやバイオディーゼルといったバイオ燃料に適した作物を創出することで、カーボンニュートラルの実現に資する研究にも期待がかかっています。バイオテクノロジーの技術自体を進化させる研究も大切ですが、その技術をどんな分野に使うかという応用研究にも、農学の分野では大きな関心が払われています。

## 森林と気候変動

# 森林と木質材料を持続的に活用することで気候変動を含む多様な課題解決に貢献

近畿大学 農学部 環境管理学科 松本 光朗 教授

### Point

- 地球全体のCO<sub>2</sub>の収支バランスのなかで森林は大きな役割を持つ
- 森林土壌は、森林の樹木の約3倍の炭素を貯えている
- 森林を保全し、得られた木材を繰り返し活用し続けることが重要



### 土地利用のあり方に注目が集まり 農学と環境問題の密接な関係が明らかに

農学は、食料を得るために必要な知見を追い求める学問ですが、20世紀後半から環境問題への注目が高まっていくにつれ、土地利用の観点から農学が見直されるようになってきました。農業や林業は、天然の森林を伐採して農地にしたり、人工林にしたりすることで発展してきたため、いわば森林破壊を伴った土地利用ということができます。ですから化石燃料を使い始めた産業革命以前は、農地開発が一番大きなCO<sub>2</sub>排出源でした。

環境問題は、当初は自然破壊など地域の個別の問題でしたが、やがて地球環境へと視点が移っていき、熱帯林の森林破壊が注目されるようになっていきます。というのも、森林破壊がCO<sub>2</sub>の大きな排出源であることが科学的に明らかになってきたからです。

1980年代には、すでに地球温暖化に対する科学的なアプローチが行われていました。主に化石燃料の消費が原因で大気中のCO<sub>2</sub>濃度は上昇しますが、一方でCO<sub>2</sub>は大気に残留したり、海洋に溶け込んだりします。こうした地球の大きなCO<sub>2</sub>の流れを計算すると、どこかがCO<sub>2</sub>を吸収していないと収支が合わないのです。「missing sink」（失われた吸収源）と呼ばれるこの現象に対して、森林の研究者が北半球の陸地が大量のCO<sub>2</sub>を吸収していることを明らかにし、missing sinkとは森林であることがわかりました。

陸地は森林が主ですが、草地や農地にも光合成を行う

植物が大量にあります。陸地のCO<sub>2</sub>吸収量は、どこがどれだけ吸収しているかを計算して積み上げたのではなく、陸地がこれだけ吸収しているはずだという引き算で算出されています。陸地の森林や草地、農地はまさに農学の対象です。それらが地球の大きな炭素循環に大きな役割を果たしていることがわかったことで、農学と地球環境問題が密接な関係を持っていることが明らかになってきたのです。

### 成長する樹木だけでなく 森林全体で大量のCO<sub>2</sub>を固定

森林は成長の過程でCO<sub>2</sub>を吸収しますから、CO<sub>2</sub>の吸収源ということになります。しかも、それをただ吸収するだけでなく、CO<sub>2</sub>をずっと溜めておくこと（炭素固定）ができます。草や農作物もCO<sub>2</sub>を吸収・固定しますが、1年程度で枯れたり、刈り取られたりするため、年間の収支はゼロです。しかし、森林の場合は、人工林で数十年から数百年、天然林だと数百年以上（屋久杉は数千年！）にわたって、大気中のCO<sub>2</sub>を吸収・固定しておくことができます。固定しているというとは、それだけ大気中のCO<sub>2</sub>が減っているということです。つまり森林は、「吸収して溜めておく」という1セットで、CO<sub>2</sub>の減少と気候変動の緩和に貢献しているわけです<図>。

しかし、熱帯林の破壊は、こうしたCO<sub>2</sub>の吸収・固定を阻害するだけでなく、CO<sub>2</sub>の大きな排出源にもなっています。また、森林は、樹木だけで炭素を固定しているわけではありません。森林の土壌には葉や小枝、樹皮、

倒木などが腐敗してできた大量の有機物が含まれており、そこに貯蔵されている炭素量は樹木の炭素量の約3倍といわれています。森林を破壊すれば、樹木だけでなく土壌も莫大なCO<sub>2</sub>の排出源になるわけです。

熱帯林破壊の背景には経済的理由があります。伐採すれば木材がお金になり、そこを農地にすればさらにお金が入るといった経済の仕組みがあることが、熱帯林破壊の根本的な原因です。熱帯林破壊を止めるには、伐採しない方がお金になるような仕組みを作る必要があります。

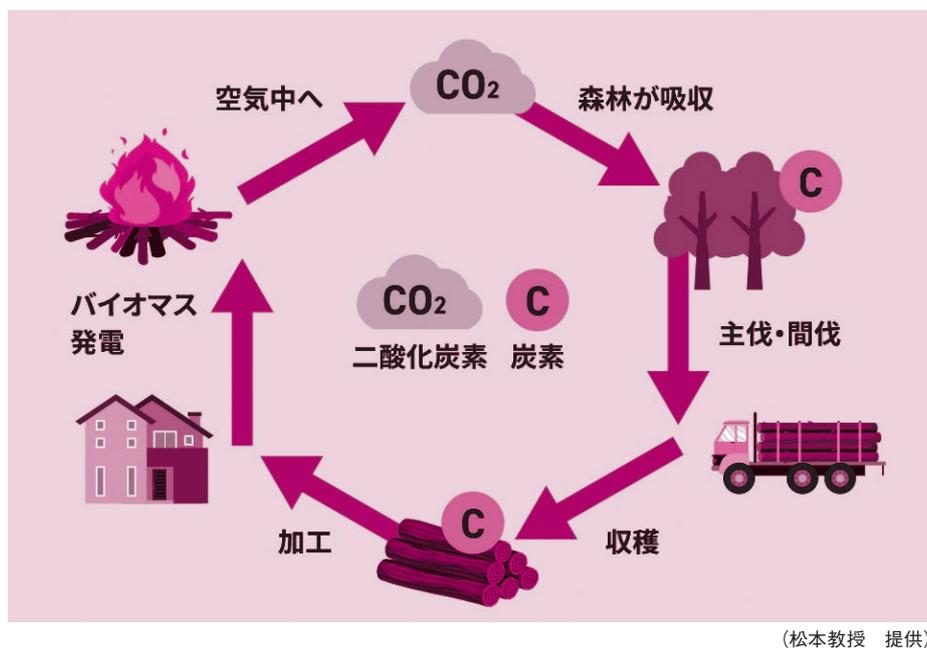
こうして登場したのが、「REDD+（レッド・プラス）」という枠組みです。2005年から検討が始まり、2015年のパリ協定でその推進が奨励されるようになりました。簡単にいえば、熱帯林を伐採しないで保全しCO<sub>2</sub>排出を削減できれば、その量に応じてお金がもらえるという、非常に現実的な仕組みです。お金は先進国が基金を作って調達します。その結果、「REDD+」の発効前から、そのアナウンス効果によって熱帯林の森林破壊は驚くほど減少し、最も熱帯林破壊が進んだ1990年と比較して、半分程度になりました。

### 木材として利用し続けることが 気候変動への有効な処方箋に

森林の最も興味深いところは、成長し続けるということです。成長した分だけを伐採していけば、森林は持続していきます。伐採された木材は炭素を貯蔵したままですから、それを木質材料として使い続けられれば、それだけ長期間に渡って炭素を固定し続けることができます。

木材は、鉄やコンクリートなどのようにCO<sub>2</sub>を大量に排出した結果得られる材料と違い、非常に少ない排出で作ることのできる材料です。そのため、鉄やコンクリートの代わりに木材を使えば、CO<sub>2</sub>排出を減らすことがで

図 炭素の固定とサイクル



(松本教授 提供)

きます。最近では、木材を何層にも貼り合わせて大きな柱や壁を作るCLTやLVLといった技術も進み、これにより高層の木造ビルの建設が進んでいます。木造ビルの重量は鉄筋コンクリートビルの3分の1ですから地盤改良も安価ですし、木材はもともと断熱効果が高いため、冷暖房効果も良好で、建築材料として大きなメリットがあります。

木材を木質材料として、建材や家具などに利用すれば、それらが機能している時間だけ、炭素を長く固定しておくことができます。廃棄する際も、木質チップにすればパーティクルボードとして再利用できますし、溶かせば紙として再利用できます。最終的にバイオマス燃料として燃やすことにはなりますが、こうして長く利用し続けることが、気候変動への大きな処方箋になるのです。

ただし、森林の機能は、CO<sub>2</sub>を吸収・固定するだけではありません。その土壌で水を浄化したり、保水したりする機能や、生物多様性の保全機能、レクリエーションの場、芸術的なインスピレーションを提供する場としての機能もあります。気候変動の緩和は、森林の持つ多面的な機能の一部でしかありません。森林は、それ自体が非常に魅力に富んでおり、興味深い研究対象です。ぜひ、高校生のみなさんにも関心を持ってほしいと思います。

## 第6次産業化

# 第1次産業の基盤強化と人材育成が 第6次産業化の発展の大きな鍵に

立命館大学 食マネジメント学部 松原 豊彦 教授

### Point

- 生産だけでなく加工や流通にまで関与して農産物に高い付加価値をつける
- 地域での面的広がりを持たせながら、第1次産業を活性化することが重要
- 農業生産と消費者の新しい関係を提案できるプロデューサー的発想が必要



### 農家のさまざまな取り組みを 第6次産業化として概念化

農業、林業、水産業などの第1次産業に従事する生産者は、これまで自分たちの生産物を、単なる原材料として提供することで収入を得て生活を成り立たせてきました。しかし、それだけでは大きな利益は見込めません。第1次産業の担い手は減少傾向にあり、高齢化も進んでいますし、第1次産業をこれからも持続的に発展させていくには、第1次産業全体の収益を増やしていかなければなりません。

そのための方策の1つとして登場したのが第6次産業化です。生産者である第1次産業従事者が、加工を行う第2次産業や、流通・販売を担当する第3次産業に進出して、自分たちの生産物に付加価値をつけて収入増を図る試みのことをいいます。それぞれの産業を掛け合わせれば $1 \times 2 \times 3 = 6$ となることからのネーミングで、約30年前に今村奈良臣東京大学名誉教授が提唱した概念です。

第6次産業化という言葉が登場する以前から、農家では生産物の加工や販売に取り組んでいました。果実をジュースに加工して出荷したり（第2次産業への進出）、農産物直売所を設置して自分で値段をつけて直接消費者に販売したり（第3次産業への進出）といった試みが、各地で行われていました。それが第6次産業化と概念化されたことで、多くの取り組みが活性化していきました。

たとえば北海道の平取町では、トマトを「びらとりト

マト」として東京圏や京阪神にも販売する一方で、ジュースやパスタソースなどに加工して販売することで収益を上げています。高知県の馬路村では、特産品のゆずをジュースやジャム、調味料、化粧品などに加工して販売することで収益を上げています。いずれも農産物に付加価値をつけて販売することで、第6次産業化に成功した例です。

### 第6次産業化の動きを俯瞰すると同時に 取り組みの効果をj確認する事例研究も

第6次産業化について研究する場合は、全体の動きの分析と同時に、事例研究が不可欠です。

2010年に「6次産業化・地産地消法」が成立し、農林水産省「6次産業化総合調査」が毎年実施されるようになってからは、全国の第6次産業化の取り組みを俯瞰してデータにもとづいて分析できるようになりました。

それによると、加工と直売所の2つが、第6次産業化事業による販売額の95%以上を占めていることがわかります<グラフ>。しかし、それ以外の取り組み、たとえば梨狩りやぶどう狩りなどの「観光農園」や、農家が経営する「レストラン」や「農家民宿」などはそれほど広がっていません。したがって、第6次産業化の全体の動きを見ながら、今後に向けての課題や方向性を分析、提案していくような研究が必要です。

一方で、個別の事例について研究することも重要です。その取り組みが第6次産業化という方向性のなかでどのような位置にあるのか、あるいは当該事例の持つ特殊性

は何か、逆に普遍性は見出せないかなどを分析することで、他の地域で横展開できる要素を抽出したり、より効果的な方法を提案したりすることができるからです。

私もキャンパスが立地する滋賀県や京都府を中心に、近畿圏のフィールドで、学生たちと一緒に事例研究を行っています。たとえば(株)プリロードという企業があります。同社の代表は大学在学中に起業したのですが、無農薬で野菜を生産すると同時に、それをスープに加工して、スープ専門店の店舗展開を図っています。京都府南丹市園部町にある同社の農場では、私のゼミの卒業生が生産部の責任者として働いており、学生の見学や農作業体験を受け入れてもらっています。

### SDGsにも貢献する第6次産業化 ビジネス化できる人材育成が重要に

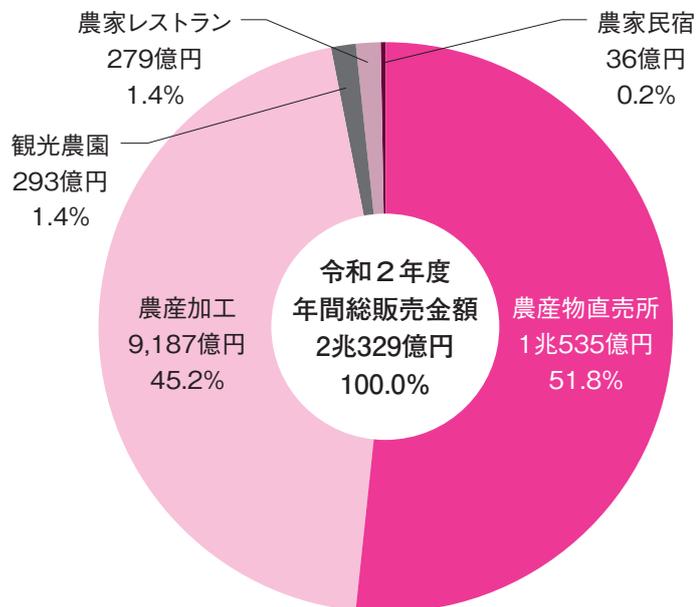
第6次産業化の推進には、現在3つの課題があると考えています。1つは、第1次産業の基盤を建て直すことです。北海道の平取町は新規就農者を継続的に受け入れ支援することに成功しています。この取り組みのように、農業の担い手を増やすことが大切です。第1次産業が廃れてゼロになれば、いくらそこに2や3をかけてもゼロのままだからです。

次に、小規模事業者への支援です。第6次産業化の取り組みは地域をベースにした小規模なものが多く、全国に販売網を構築することは難しいです。とくに事業の立ち上げから軌道にのるまでの数年間は、市町村や農協等が支援を続けることが重要です。

最後に、加工と直売所以外の事業への展開です。コロナ禍のもとで外出や旅行が控えられるなかで、農家レストラン、観光農園や農家民宿の事業は売上が減っています。オンラインを活用した農村と都市生活者の交流事業の実現や、観光業と連携したアグリツーリズムの開発など、さまざまな工夫の余地があると思っています。

第6次産業化の取り組みは、基本的に地域の資源を認識し活用することが中心です。ですから、将来的には個々の生産者だけではなく、生産者が横につながって面

グラフ 農業生産関連事業の年間総販売金額(全国)



〔令和2年度6次産業化総合調査結果〕(農林水産省) ([https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka\\_gaiyou/rokujika/r2/index.html](https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/rokujika/r2/index.html)) をもとに河合塾作成

的に広がっていくことが重要になってくると思います。

未利用の資源の活用も視野に入れる必要があります。たとえば、規格外の農産物を廃棄せずに活用する方法を模索することはSDGsの観点からも重要です。さらに、日本では一般に知られていないけれども、今後普及が可能な食材の開発に取り組むことも考えられます。たとえば中国や東南アジアで食材としてよく利用されているマコモダケは、最近一部で知られるようになってきています。私はプリロード社から教えてもらったのですが、水田での栽培に適しており、稲作の転作作物としての可能性を持っています。

第6次産業化で何よりも重要なのは、生産者と加工、流通・販売をつなぐプロデューサー的な人材の育成です。生産者全員が加工や販売のノウハウを修得することは困難であり、加工業者や流通業者と連携して実質的な第6次産業化を図ることが重要です。そのためには、地域の資源をどのように商品化していくのか、生産段階から加工、販売まで含めた企画を立案し、資金調達も含めたビジネスの全体を見て、マネジメントできる人材がどうしても必要です。今後の第6次産業化の成否はこうした人材の育成にかかっていると思っています。

スマート農業

# ICTとロボット技術を活用して 日本や世界の農業の課題を解決する

北海道大学 農学研究院 基盤研究部門 生物環境工学分野 野口 伸 教授

Point

- ICTとロボットを活用し、労働力不足の解消と、生産性向上をめざす
- フードチェーン全体を情報化することで、需給バランスの維持が可能に
- 人間中心の農業生産を維持しながら、遠隔監視による自動化を志向



## 生産性を高める狭義の「スマート農業」から 消費まで含めた「スマートフードチェーン」へ

日本では農業従事者が減少し、高齢化も進んでいます。食料を生産する農業を衰退させないためには、農業の担い手を増やすと同時に、生産性を高めていく必要があります。その鍵を握るのが「スマート農業」です。

「スマート農業」は、主にICTとロボットの2つの技術を利用した新しい農業の姿をさします。農作業をロボットに代替させたり、長年の経験や勘、ノウハウを継承できるようにデータ化したりすることで、労働力不足を解消し、生産性を高めることをめざしています。その先には、生産現場から流通・加工、販売・消費まで含めたフードチェーン全体の情報化や効率化を実現し、消費者のニーズに合った生産・流通・加工・販売が行われる「スマートフードチェーン」へと発展させていくことが期待されています。

「スマート農業」を推進するには、まず、経験と勘に支えられていた農業生産に必要な情報を、データ化する必要があります。これを「データ駆動型農業」といいます。その実現のために、ドローンやリモートセンシングによる、圃場のデータや気象データなどを集める技術、集めたビッグデータをAIなどで分析し、有用な情報を抽出する技術などが研究されています。また、その有用な情報を農家の人が使いやすいようにするユーザーインターフェイスの研究も重要です。さらにそれを搭載したロボットの開発も必要で、こうした技術開発が現在も盛

んに行われています。

一方、「スマートフードチェーン」の推進には、農業生産に必要な情報と、出荷後の情報が分断されている現状を打開する必要があります。生産・加工・流通の情報をつなげて把握できるようにすることで、たとえば消費者はQRコードで産地の情報などを把握することができますし、生産者も流通情報や小売のPOS (Point of Sales) システムの情報により、いつでも何がどれだけ売れているのかわかるようになります。その上で、需要予測や出荷予測に基づいて栽培、出荷できるようになれば、消費者も生産者も互いに満足できる農業が実現します。ただ、こうした予測には非常に多くの不確定要因があり、研究は道半ばといえます。

日本のフードチェーン全体の市場は100兆円規模とされています。巨大な市場を持っているからこそ、スマート農業、そしてスマートフードチェーンの実現が、強く求められています。

## 遠隔操作のロボット導入で 農業生産の現場を変える

私たちの研究室では、「スマート農業」で大きな役割を果たすロボット農機について、2018年に圃場での目視監視による自動走行を社会実装させることに貢献しました。人が運転するトラクターと無人トラクターを連動させて、1人で2台のトラクターが操作できるようになっています。

次にめざしているのは、離れた場所から遠隔操作で農

## 図 マルチAIロボットによる革新的スマート農業



(野口教授 提供)

作業を行う遠隔監視・圃場間移動可能なロボット農機の開発と社会実装です。ただし、課題が2つあります。

1つは、現行の道路交通法では公道を無人機が走行できないことです。これは法改正や規制緩和なども視野に入れつつ実現をめざしていくことになります。もう1つは、遠隔監視に耐え得る高速な無線通信技術です。現在、NTTと共同でローカル5Gを使った研究開発を進めていますが、到達距離が短くどこでも使えるわけではありません。そのため、通信速度は遅いけれども全国をほぼカバーできる4Gも利用し、安全かつ正確に遠隔監視できるような無線ネットワークの開発に力を入れています。

遠隔監視・圃場間移動可能な小型ロボット農機が実用化できれば、あらゆる農場で使うことができます。都会に住みながら、先祖から受け継いだ中山間地域の小さな農地を守ることもできますし、複数のロボット農機を群管理することで、大規模農場での作業効率も高められます。大規模農業国アメリカでさえ、大型農機による弊害(土壌の踏み固めによる根の成長阻害や、排水性の低下など)を避けるために、小型マルチロボットの導入が推奨されており、今後の成長が期待される分野です。

また、野菜や果樹は品質と鮮度が重要なため、私たちは汎用のEVロボット農機の開発も進めています。ロボットに下草刈り、施肥、防除、見回り、剪定、収穫など、作業に応じたロボットハンドを取り付けることで、多様な農作業を1台でこなせるようにすると同時に、AIが自動で収穫時期を判断して収穫し、高品質な作物を出荷

できるシステムへとつなげたいと思っています。

### デジタルツイン技術を確立することで 世界中にMade by Japanの農作物を届ける

「スマート農業」は、将来的には地域や国境を越える可能性も秘めています。遠隔での農作業が実現すれば、たとえば冬は雪で農作業ができない北海道の農家が、九州や南半球の国の農場で遠隔栽培を行うこともできるからです。そうなれば世界中にMade by Japanの農作物を届けることだって不可能ではなくなります<図>。

品種や土壌、気候が異なる地域では、その土地に合わせた調整が必要ですが、現地栽培での試行錯誤では時間がかかります。それを解決するのが農業現場のサイバー化です。農作物の生産に必要な条件を数値モデル化して、それをサイバー空間上の農場でシミュレート栽培を行うわけです。現実世界の双子をサイバー空間に構築するという意味で、デジタルツイン技術と呼んでいます。現実世界では10年間で10回しか栽培できなくても、サイバー空間でなら1日で100回栽培できます。その度にAIは賢くなりますから、より短期間でその土地に最適化された生産を行う仕組みが出来上がることになります。

とはいえ、「スマート農業」は、完全無人化農業をめざしているわけではありません。収穫を祝うのは人類の持つ文化です。農業に従事する人間を大切にしながら、人と機械が協働する、より豊かな農業を実現するのが「スマート農業」だと考えています。