

1

本稿では、農業情報学の成り立ちと研究動向についてまとめる。特に、新たな取り組みである、熟練農家が保有する、作物栽培に関する優れた知見の解明や継承に関する研究について述べる。熟練農家は、作物とその周囲の自然環境の状態に応じて、適切な農作業を判断・実施することにより、平均的な農家の数倍から数十倍にも及ぶ生産性を安定的に供出している。この高い生産性は、個々の熟練農家の数十年にも及ぶ長い農業経験により培われたものであり、従来は親から子へと、あるいは徒弟制度等により、一定期間の共同作業を経て次世代へと受け継がれてきたが、若年就農者の減少により、多くの優れた知見が受け継がれない状況が生じている。最近の新たな取り組みは、この優れた生産性のさらなる高度化、および多数の農家への伝搬を目的としたもので、我が国の食糧自給率増加はもとより、今後の世界的な人口増加とそれに伴う食糧危機への有効な対処手段となることが期待されている。

>> 農業分野の概況

農業は、農地、栽培作物、および栽培者（以下、農家）の各要素が情報により連関するシステムである。より広義に、農作業に必要とされる肥料等の農業用資材、あるいは収穫された作物の販売に関与する流通卸、小売までをシステムに含める場合もある。農地とは、作物が栽培される土壌を含めた、作物を取り巻く自然環境であり、温湿度、日照量、土壌温湿度、土壌水分量、土壌 EC (Electro Conductivity, 電気伝導度、土壌中の含有肥料分の状態を数値で示す値として使われる) 値、風向き、風速などの情報が含まれる。栽培作物には、作物の成長、品種、栽培日数、栄養価（水分、酸度、糖度など）、果樹の大きさ、色合いや茎径などの情報が含まれる。農地と栽培作物の情報は、農家へ伝達され、その情報に基づき、農家を実施する作業が農地と栽培作物へ影響を与え、栽

特集 新しい○○情報学

農業情報学

神成 淳司

慶應義塾大学環境情報学部

培作物の成長が促される。栽培作物の成長が一定基準まで進めば、その情報を獲得した農家は、作物を収穫する。農業の目的は、作物の収穫であり、一般的に多くの地域において採用されている評価軸は、収量（あるいは、収穫した作物を販売して得られる収益）である。収益には、市場価格との兼ね合いがあり、需給バランスの状況を踏まえた収穫と出荷が必要とされるが、栽培作物の成長には一定期間が必要とされ、市場状況の急激な変動に対応することは難しい。豊作貧乏といった言葉を聞いたこと

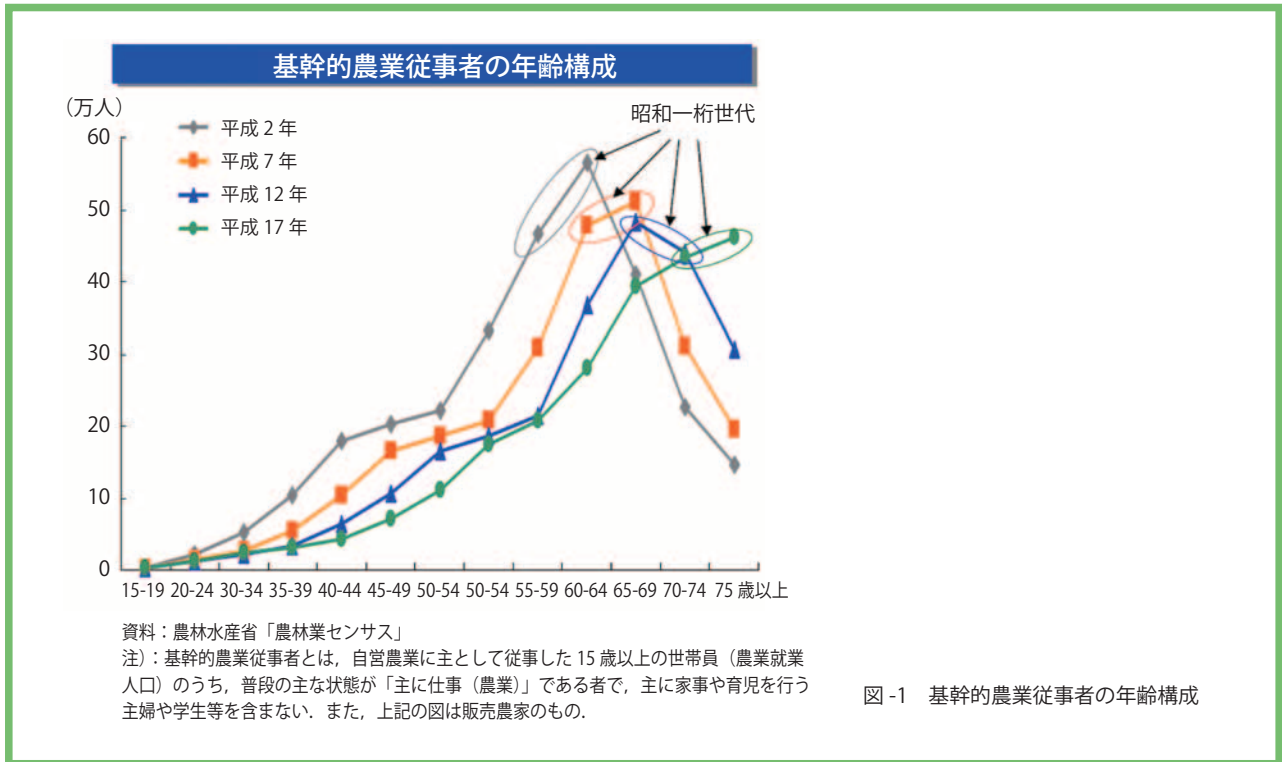


図-1 基幹的農業従事者の年齢構成

がある方も多いただろう。高収量が高収益へと繋がらなかった状況である。

農業情報学は、狭義の情報システム、すなわち、農地、栽培作物、農家を構成要素とし、その間の情報流通に着目した研究領域である。関連する学術組織や研究発表の場として、国内では農業情報学会や農業機械学会、海外では、AFITA (Asian Federation for IT in Agriculture) や ICPA (Int. Conf. Precision Agriculture), ASPB (American Society of Plant Biologists) などがある。

本稿では、農業情報学における新たな潮流として特に、農家における情報処理に重点をおいたものを取り上げる。この取り組みが注目されるのは、後述のように農業分野の先行きが厳しい状況を踏まえ、既存の農業情報学において取り組まれてきた、システムの構成要素間の情報流通の促進が、主たる評価軸である収量性へと必ずしも繋がらないという点の改善が早急に求められているためである。

国内の農業従事者は急速に高齢化しており、世代別に農業就業人口を比較すると、2007年時点で75歳以上時上が最も構成比が多い状況にあり（図-1参照）、今後10年以内には、その多くが引退し、農業就業人口の

大幅な減少と、国内食糧自給率のさらなる低下が予想される。若年新規就農者の低所得傾向もあり、この傾向は今後ますます顕著となっていくことが予想されている⁵⁾。

一方、単位面積あたりの日本の農業生産性は、多くの作物を日本が輸入する米国と比較して9倍程度と世界でも高水準に達する（図-2参照）。この高い生産性は、引退が懸念される高齢世代を中心とした熟練農家によるもので、若年新規就農者はこの限りではない。実際、「水やり10年」と言われるように、農業分野で高い生産性を実現するには長期間の経験が必要である。狭量な農地と高い人件費・生活コスト等の課題を持つ日本の農業は、この高い生産性が実現できなければ、農業単独で生計を立てていくことが難しい。

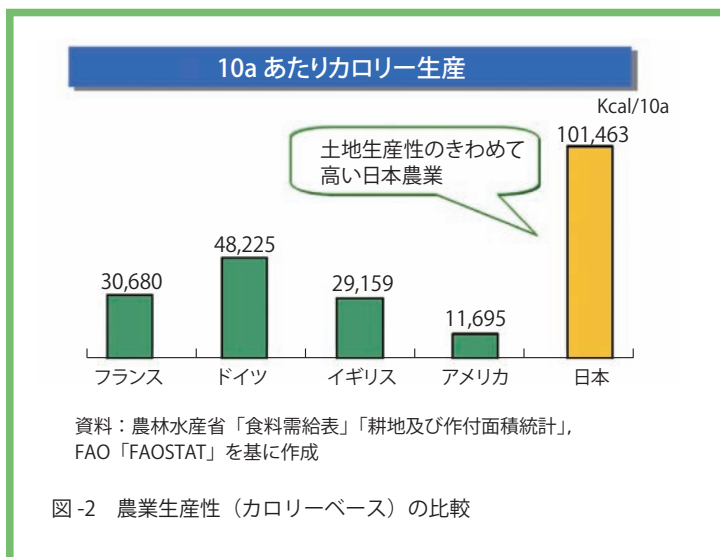
この状況を受け、生産性を高めるためのさまざまな取り組みがなされてきた。たとえば、農業機械の高度化に始まり、各地の地理的特性に合わせたさまざまな農業設備等である。しかしながら、これらの既存の取り組みの多くは、作業の効率化による生産性向上に寄与することに主眼がおかれ、前述のような厳しい状況にある新規就農者の早期状況改善に寄与するものではなかった⁴⁾。従来取り組まれてきた農業情報学の研究は、農地や栽培作物の情報流通を円滑化するものではあったが、これら課題を

>> 農業情報学における課題

農業情報学は、1980年代から、国内および世界各地で取り組みが進められてきた。当初から進められてきたのが、農地の状態や農作業の内容を記録する取り組みである。農作業記録は、作物栽培過程において生じるさまざまな失敗や成功の原因を探るために進められている。農作業記録は、一般に栽培日誌と呼ばれることが多く、天候や作物の状態、実施した農作業の中身、あるいは使用した農薬や肥料の種類等を記載したものである。個々の栽培日誌は、失敗や成功の原因を探る以外にも、複数の栽培日誌を比較することで農作業内容の見直しを

実施したり、農薬の種類や使用回数が法律に定められた基準以下であるかの確認をしたりといったさまざまな用途に使われている。農業技術体系データベースは、この栽培日誌をデータベース化したもので、農薬や肥料などの農業資材の価格・投入量・費用、農業機械や施設などの価格・耐用年数・減価償却費・性能、労働時間、作物の在圃期間、収量や販売価格など、生産から財務まで広範囲なデータを農作業スケジュールと関連づけることで、記録された内容の閲覧や比較分析における農家側の手間軽減に資するものである⁶⁾。さらに、最近では、農作業用ウェアラブルコンピュータや農機具の高度化、あるいは農地の状態を記録する圃場設置型情報端末などの活用も、農作業記録の負荷軽減や情報の閲覧環境のさらなる高度化を目的として提案されている⁷⁾。農作業用ウェアラブルコンピュータを用いた取り組みでは、農地にバーコードスキャナを設置して位置や作業内容を容易に入力可能にしたものや、音声認識の活用など、農作業中に作業内容の記録を合わせて行うための仕組みが取り入れられている。また、特に施設栽培に関しては、栽培施設設備全体をセンサネットワークとして構築し、統合的に管理しようという試みも進められ、後述の植物工場へとその成果が供出されている⁷⁾。これら取り組みは、農地の状態や農作業の精密な記録と、記録に基づく正確な農作業の実施が、生産の安定性に繋がるという精密農業 (Precision Agriculture) の考え方に基づいたものである¹⁾。

しかしながら、情報学的に捉えれば、精密農業の方向



解決するものではなかった。

新規就農者と熟練農家の違いとは何か。それは、農地や栽培作物から得た情報に基づき、その時点で適切な農作業の「判断」処理である。農業分野において実施すべき作業は、作物ごとに種まきから収穫までの一通りの過程を一定期間経験することで覚えることが可能である。ただし、現時点での農地や作物の状況に応じ、どのような作業を実施するのかの「判断」処理が新規就農者には難しい。その点が生産性の違いとして提出されるのである。筆者らは、この熟練農家の「判断」処理の解明が、上述の課題を解決するために必要であることを主張し、農林水産省とともに、研究促進と普及啓発を進めている⁴⁾。この新たな取り組みは、農林水産省により、AI (Agri-Informatics) 農業と称され、既存の農業情報学の取り組みと区分されることが多い (以下、本稿では、AI 農業と記す)。2010年4月には、日本政府の「知的財産基本計画」、および農林水産省の「食料・農業・農村基本計画」にAI 農業の促進が記載された⁵⁾。AI 農業の研究発表の場としては、(社)人工知能学会の第二種研究会である「社会におけるAI研究会」があり、まだ発表件数は少ないものの熱心な議論が繰り広げられている。

以下では、既存の農業情報学が直面している課題を踏まえ、AI 農業の現状についてまとめる。

性は甚だ難しいと言わざるを得ない。農地の状態や農作業を精密に記録しようという試みは、対象領域が限定されるとは言え、現実世界そのものの記述という、際限のない作業である。正確な農作業を実施するために必要とされる精密性とはどのようなものなのか。そもそも、正確な農作業とは、どのようなものなのか。作物の苗を定植させるという作業を例に挙げて考えてみよう。この作業では、苗を植える深さ、植えた後の土の盛り方、苗を植える間隔などが、重要な要素である。これらの要素が適切でなければ、苗の定植がうまくいかなかったり、枯れやすくなったりといった状況が発生してしまうのであるが、どの程度の値が適切であるかは、土壌の温湿度や天候により異なってくる。対象となる農地において、何カ所の土壌の温湿度を計測すればよいのだろうか。農地内でも場所により水はけや日照状態は異なるため、どれほど多数の地点を計測しても、それで十分とはならないのである。正確な農作業の実施という点についても同様の問題が存在する。土壌の状態が場所ごとに異なるのであれば、その状態に即して農作業の修正が必要である。たとえば、1,000本の苗を植えるのに、1,000種類の正確な農作業を実施しなければいけないのだろうか。自然環境からの影響を加味する限り、精密さの追求は解決不能な問題へと直面する。

そこで考えられたのが、植物工場である。植物工場を情報学的に表現してみれば、作物栽培のための「Toy World」,「実験室環境」である。農業情報学を構成する要素のうち、農地（さまざまな環境要素）と農家（農作業）を一定化することで、作物栽培を制御しようという試みである。具体的には、作物栽培に影響があると想定される農地情報を人工的に管理し、実施する農作業をマニュアル化する。精密農業が要求する農業生産の安定性を具現化したものである⁷⁾。自動車等の工業製品の安定的な生産を実現したメカトロニクス技術の考え方を農業分野に適用したと考えれば分かりやすい。栽培施設を用い、施設内の温湿度、日照を管理することで、農地の地域性を無視することが可能だ。その地域の土壌が及ぼす影響に関しては、均一な無機土壌を用いるか、水耕栽培手法を採用することで対応する。これらの取り組みにより、精密農業が直面していた前述の課題の解決が見込まれる。

植物工場の利点としては、この、安定的な生産という点に加え、早期に多数の地域へ展開できる点が挙げられる。その地域の土壌を使用せず、気候も制御すれば、どの土地でも定型化された作業を実施すればよい。農作業の単純労働化に資するものとも捉えられる。さらに、栽培環境を制御することで、栽培する作物が市場で最も不足する時期に出荷することも見込まれる。

その一方で、解決すべき課題も存在する。

まず、1つ目の課題として指摘しておきたいのは、現状の植物工場の生産性は、前述した国内農家の高い生産性に及ばないという点である。熟練農家は個々の作物の概況を観察することで内部状態を予測し、さらに自然環境からの影響を踏まえ、その時点に「適切な」農作業の「判断」を実施している。作物の成長は自然現象であり、その内部状態は1つ1つ異なっている。その状態に適した作業を提供することで、作物の力を引き出すことが生産性を上げるために重大なポイントとなっている。たとえば、特定の内部状態の作物に適度なストレスを与える（供給分量や栽培環境を作物側の負荷が高まる状態とするなど）ことで、成長促進や高糖度化などの状態変化が、過度のストレスを作物側に与えれば、根枯れや果樹の腐敗等が生じる。

それに対し、前述のように、植物工場は、栽培中のどの作物にも適した、ある意味では中庸な環境を提供しているために、生産性が劣ってしまう。植物工場は、作物の栽培に適した栽培環境を栽培施設内に整備し、作業を一定化しようとする。工業製品を製造するのであれば、この手法でも問題はないだろう。ところが、対象となるのは生命体である。種苗の段階から固体差があり、最適な環境も異なる。生産性の違いは、これらの差異を無視したためである。

もう1つの課題として指摘しておきたいのは、設備費用や維持管理費用が、従来型施設栽培と比較して高額であるという点である。自然環境の影響を排除し作物栽培を実施するということは、自然環境を排除するための設備と、栽培環境を人工的に構築するための設備が新たに必要となることを意味している。たとえば、光合成を従来環境と同等以上に実現しようとするれば、太陽光と同等の日照量・熱量を栽培施設内に用意しなければいけな

い。温湿度等についても同様である。実際、設備投資額はおおよそ同じ敷地面積の一戸建ての建築費用の数倍程度にのぼり、維持管理コストも従来型の栽培施設のおよそ数倍規模に達する。生産規模が拡大すればコスト低減が見込めるのであるが、厳しい経済状況の影響もあり、公的な助成制度に依存するものを除き、着工件数はそれほど増加していないのが現状である。すでにいくつかの研究機関において、低価格化のためのアプローチが進められており、研究成果の早期の投入が期待されるが、気候からの影響を排除するためには、一定規模の設備投資を実施することは不可欠である。

農業情報学は、各要素間の情報流通の促進、ならびに要素の不確定性の排除による安定的な栽培に取り組んできたが、熟練農家の生産性に及ばず高コスト性を招くという課題に直面している。

>>AI 農業

AI 農業は、農家の「判断」処理に着目している。「判断」処理から出力されるアウトプットは、どのような農作業をどのようなタイミングで実施するのかという点である。従来の農業情報学では、前述の植物工場の事例にあるように、農家の「判断」処理のマニュアル化を進めようとした。マニュアル化が対応できる範囲にインプットを制限しようというのが植物工場である。それに対し、AI 農業が目指すのは、農家の「判断」処理のモデル化である。「判断」処理モデルは、過去の多数の農家の「判断」処理を集積したもので、入力情報に基づき、確からしいと想定される農作業リストを出力情報とする。「判断」処理モデルは、農家の意思決定支援としての活用が期待されるもので、農業の自動化、マニュアル化を促すものではない。

この「判断」処理モデルの構築に際しては、新たに以下の取り組みが必要とされる。

第1に、作物の生育への人間行為からの影響と、自然環境からの影響との分離である。農業分野における作物の生育環境は、自然環境の中でそのまま栽培を実施する露地栽培と、ビニールハウス等の施設を用いる施設栽培とに大きく分類される。不特定の環境要素が必然的に影響し合い常に環境が変化する露地栽培では、原則

として、データを取得する際の環境の同一性が求められない。そのため、研究の初期段階においては、取得した作物の生育状況データから、人間行為からの影響を抽出することは非常に困難である。施設栽培を初期の実験環境として用いることが望ましい。細かな栽培方法の違いを挙げればきりが無いが、トマトやイチゴ等を始め、さまざまな作物が、露地でも施設でも栽培されており、施設栽培における知見を露地栽培へと適用することは十分に可能である。

ここで、施設栽培と、前述の植物工場との違いについて触れておこう。基本的な考え方として、植物工場は施設栽培の枠組みの中の1つである。既存の施設栽培が、主にコスト面での制約から、自然環境からの影響をある程度許容したものであるのに対し、植物工場は、自然環境からの影響を排除し、独自に栽培環境を構築しようという考え方に基づいているという違いがある。実際、植物工場に用いられている技術や手法のいくつかは、元来、施設栽培において用いられてきたものである。これらのことが示すように、初期の研究段階において用いる実験室環境として、植物工場は非常に魅力的な環境とも言える。ただし、残念なことに、熟練農家が植物工場を活用してさらなる生産性向上を成し遂げるという状況は、植物工場自身の目的が栽培行為自身の定式化であることの影響もあり、ほぼ存在していない状況に過ぎない。そもそも、熟練農家はすでに、投資対効果に優れた簡易的な栽培施設で、一般の植物工場を上回るほどの優れた生産性を成し遂げている。さらなる生産性向上を目的とした植物工場の導入というテーマに興味を持つ熟練農家が多いのも事実であるが、投資対効果とリスクの観点から、実際に導入された事例はほとんど存在せず、今後も圧倒的に費用が低減化される場合を除き、この状況は変化しないだろう。我々が研究対象として重要なのは、あくまで高生産性を成し遂げる熟練農家の判断であり、多くの熟練農家が活用する、簡易的な設備を用いた施設栽培が主な対象となる。

また、作物の生育に及ぼすものとしては、これまでの議論に加え、地域ごとの土壌特性の違いが栽培に与える影響についても作物の種類や生育環境によっては、加味する必要がある。この点については、すでに農業分野



図-3 高付加価値型販売ソリューションを適用した作物販売(イチゴ)の様子

で多数の取り組みがなされており、その成果を適用することで対応が見込まれる。たとえば、トマトやイチゴ等の作物については、栽培ベッドを用いることで対応が可能である。これは、火山灰や燐炭等を原料とした特定の栽培用土壌を発泡スチロール性等の細長いケースに入れたもので、安価に設置することが可能なため、熟練農家を始め、国内各地で採用されている。これらの既存成果を活用し、作物の生育への人間行為からの影響と、自然環境からの影響との分離が可能な状況を造り上げていくことが求められる。

第2に、農地における農家の行動観察に関する取り組みである。農地における人間の行動記録は、前述したウェアラブルコンピュータを用いた研究開発の一環として、農地内に設置したバーコードリーダーに、各農家がリストバンドに取り付けたバーコードを読み込ませるものが提案されている。しかしながら、このアプローチではあらかじめリスト化された行動の時系列遷移を記録するだけである。熟練農家は、「米が私に水を欲しいと訴えている」というように、自分自身の感覚系からの情報を、「判断」処理へ入力している。この入力過程は、長年の農作業経験に基づき個々の農家が培ってきたもので、農家自身が明示的に入力項目をリスト化することは非常に困難であることが予想される。そこで、農地における農家の行動を観察することで、熟練農家独自の入力内容を推測しようとする。すでに、行動科学等の分野において、施設内の空間データセンシ

ングに関する取り組みや、アイカメラを用いた視点抽出等の取り組みが進められており、これらの研究成果の適用が期待される。

第3に、栽培作物情報の連続取得に関する取り組みである。既存の農業情報学において最も遅れていたのが、この分野の取り組みである。既存の取り組みは、連続した情報所得が困難な破壊型検査が主流を占めていた。たとえば果樹の糖度、酸度、硬度などの情報は、果実内水分の化学反応結果から得ており、そのためには果樹の破壊を伴う人為的作業が必要とされていた。この手法では、計測のたびに作物が損傷するため実施回数に限界があるという点と、人為的作業を伴うために計測誤差が生じやすいという点が課題であった。また、数少ない非破壊型のものとして茎径の計測が挙げられるが、この場合には茎に計測用具を装着するため、その部分の茎が変形するといった物理的な影響があることが指摘されている。連続計測のためには、非破壊型・非接触型の情報取得手法の確立が必要とされる。前項で示した、農家の行動観察から推測される入力項目のいくつかは、栽培作物情報であることが予測されており、「判断」処理モデルの重要な入力要素となると考えられる。すでに、非破壊型硬度計を始めとしたいくつかの取り組みが進められているが、さらなる取り組みの促進が求められている。

なお、これらの取り組みを促進する際には、熟練農家との連携体制確立が不可欠である。言うまでもなく農家は生活の糧として農業を営んでいる。そのため、連携体制を持続させるためには、農家側のやる気の継続的な維持と、研究推進に要する農家側の負担軽減(費用的な面はもちろんのこと、AI農業への協力に伴う作業負担)が重要となる。このうち、後者はさまざまな入力デバイスの検討や適用により取り組みが進められている。一方で、前者のやる気に関しては、農家自身の主観に委ねられるところが多く、汎用的な手法確立が困難である。この点について、我々のプロジェクトでは、農家側の収益の安定性の確立、より具体的には栽培作物の、安定的な価格取引の仕組みを構築し、試験的に提供している²⁾。図-3は、この仕組みを用いた店頭での販売風景である。安全性が高い作物栽培を確保することを目的として、独自の生産拠点を新規に立ち上げる小売が大手企業を中

心に増えてきているが、投資額が莫大な額となるという課題が存在していた。我々の仕組みは、既存農家に、計測システムを設置し、24時間体制で農地と作物の状態を観測し、その観測データを解析することで、作物の安全性を担保しようという試みである。店頭では、このように取り引きされた作物については、農地での観測データの一部を公開し、安全性に配慮した高付加価値型PB（プライベートブランド）として、競合商品より若干高めの値付けで販売され、導入効果を裏付ける販売実績を示している。小売業においては安全性に配慮した作物を獲得するための投資額低減効果が、農家側には安定的に高値で栽培作物が取り引きされる効果が期待される。また、当然のことながら、農地に設置された計測システムは、農業情報学の研究目的で設置したものであり、観測データは研究促進のために活用されている。関西での2年間に及ぶ実証を終え、全国への展開を図っているところである。

>>AI 農業の普及に向けて

AI 農業に関する取り組みは始まったばかりである。前述の「食料・農業・農村基本計画」は、食料・農業・農村基本法に基づき、食料・農業・農村に関し、政府が中長期的に取り組むべき方針を定めたもので、情勢変化等を踏まえ、おおむね5年ごとに改変される。まずは、2010年に同計画に記載されたAI農業の内容に基づき、今後5年間でどの程度の成果を供出するかが注目されている。この成果供出を目的として、2010年4月にAI農業に関する研究開発の進展普及啓発を図る、産官学連携のアグリプラットフォームコンソーシアムが立ち上げられた。コンソーシアムは、慶應義塾が事務局となり、複数の民間企業が参画するとともに、公的機関として農林水産省と経済産業省が加わり、生産現場から物流・小売までを一環として取り扱う予定である。さらにこれらの動きを受け、自治体や周辺産業分野の企業との連携が各地で進められている。

これら国内の動きに加え、海外の動きも活発化している。作物栽培研究では世界的にも先端的な取り組みを進めるオランダやイスラエルでは、熟練農家の知見継承を進めるための人材教育や栽培設備の高度化が検討されて

いる。また、発展途上国を中心に、人口増加に伴う食糧不足への対応方策の一環として、国内生産の歩留まり率や生産性向上を図るために、日本の熟練農家の知見を導入しようという動きが活発化している。すでにいくつかの作物に関しては、熟練農家の海外移住という形で技術流出が進んでおり、今後この傾向がさらに強まっていくことが懸念される。ただし、熟練農家の人数は限られており、高齢化も進んでいるため、移住先となる海外での技術普及が円滑に進まない状況も発生しており、AI農業の研究成果適用を期待する声も大きい。

国内農業分野の高齢化傾向は甚だしく、引退による熟練農家数の減少傾向も次第に強まりつつある。AI農業研究の早期進展が求められる。国連によれば、今後、全世界の人口は、2050年に現在のおよそ1.4倍程度となる90億前後へと爆発的に増加する。その一方で、全世界の農業用地面積はむしろ減少傾向にある。発展途上国の経済状況改善効果も併せ、今後10年、20年以内には全世界的に食糧危機が到来することが懸念されている。世界的にも優れた日本の農業生産性の普及、伝播は、限られた農地を最大限に活用し、この食糧危機への有用な対処となることが期待されている。

参考文献

- 1) 澁澤 栄：精密農業。朝倉書店(2006)。
- 2) 神成淳司：小売業と連携した新規農業ソリューションの検討，情報社会学会誌，Vol.4，No.1，pp.39-47（2008）。
- 3) 内閣府知的財産戦略本部：知的財産推進計画2010，http://www.kantei.go.jp/jp/singi/titekai2/100330/siryousu3_2.pdf（2010）。
- 4) 農林水産省：農業分野における情報科学の活用等に係る研究会報告書—AI農業の展開について—，<http://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/kihyo03/pdf/090820-01.pdf>（2009）。
- 5) 農林水産省：食料・農業・農村基本計画，http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/pdf/kihon_keikaku_22.pdf（2010）。
- 6) 農林水産省：農業技術体系データベースを用いた営農計画支援システムFAPS-DB，<http://fsdb.dc.affrc.go.jp/>
- 7) 農林水産省技術会議事務局：進化する施設栽培—大規模施設から植物工場まで—，農林水産研究開発レポート，No.14（2005）。（平成22年4月16日受付）

■神成 淳司 kaminari@sfc.keio.ac.jp

1996年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修了。2003年岐阜大学工学研究科博士後期課程修了。博士（工学）。1996年IAMAS助手，2002年同校講師。2000年より2006年まで岐阜県技術顧問を兼務。2007年慶應義塾大学環境情報学部専任講師。2010年より同准教授。現在に至る。製造業や農業分野における情報科学の活用に関する研究に従事。産業構造審議会情報経済分科会委員，農林水産省AI研究会委員等を務める。