

第1回 農業の持続的生産とスマート農業研究会報告

スマート農業の現状と課題について

農業の担い手の確保、耕作放棄地の活用、更なる農業総産出額の増加、国際競争力の強化など、政府は持続的な農業・食料生産の実現のため、スマート農業の普及、スマートフードチェーンの導入を進めているところです。持続可能な農業の実現を図るためには、政府による規制緩和・法整備、産官によるイノベーションの創出、農業と多様な分野との連携によるスマート農業サービスの展開、事業インフラの整備など、従来の農業の枠を超えた幅広い取り組みが必要であると考えられます。当財団では、2020年度から、「農業の持続的生産とスマート農業」（座長：生源寺眞一 福島大学教授・食農学類長）を立ち上げて、変貌していく農業について研究をすすめています。

このたび、第1回研究会（2020年10月23日開催）では、長らく情報処理やデータ活用の観点で農業の研究に取り組まれている、九州大学大学院農学研究院教授の南石晃明氏にスマートの農業の現状と課題について基調講演いただきましたので、以下のとおり報告いたします。

公益財団法人中部圏社会経済研究所企画調査部部長 鈴木 剛

「スマート農業の現状と課題～経営視点で考える農業イノベーション～」

九州大学大学院農学研究院

教授 南石 晃明 氏



- 1983年 4月 農林水産省入省（農業研究センター）
- 1990年 11月 農学博士の学位取得（京都大学）
- 2000年 3月 農業研究センター経営管理部経営設計研究室長
- 2003年 4月 独立行政法人 農研機構（※）中央農業総合研究センター
生産支援システム開発チーム長
- 2007年 4月 現職

〔講演資料（©T.Naneki）は、講師が2019年11月3日に東京大学農学部弥生講堂にて開催された、日本農学アカデミー公開シンポジウム「ICTが変える食料・農業・農村」（主催：日本農学アカデミー、公益財団法人農学会）における講演「スマート農業の現状と展望－経営視点で未来農業を考える－」および、「T.Naneki, Smart Agriculture: Current Reality and Future Prospects in Japan, IoT and AI in Agriculture: Self Sufficiency in Food Production to Achieve Society 5.0 and SDG's Globally, Tsukuba Conference, OCTOBER 4, 2019 TSUKUBA」の講演資料に加筆修正したものである〕

（※）現 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構（以下、「農研機構」）

はじめに

ご紹介いただきました九州大学の南石でございます。本日はこのような場を与えていただきましたのでスマート農業の現状と課題について、私が今までやってきたことをもとに可能な限りご紹介していきたいと思っております。

研究会が始まる前に、いつ頃からスマート農業の研究をしているのかとご質問いただきましたので、最初に、私の自己紹介も兼ねて説明させていただきます。

九州大学に移って十数年になりますが、その前に農林水産省に二十数年お世話になっておりました。その大半は、つくばの研究所におりまして、その頃からすでに広い意味でスマート農業に関わる研究をしておりました。就職する前から情報処理だとか、コンピューターというのは個人的に関心があって、就職してすぐの頃ですか、特殊情報処理技術者試験というシステムエンジニアの国家資格を取得するなどしておりました。現在は、研究室は農業経営学というところにおりますが、私は学問の区分、領域やボーダーの概念が低くて、自分の関心のあることは何でもやってきました。当然な

から農業経営学の研究もやっていますが、情報システムもつくりますし、水田に水を自動的に入れたり止めたりするような農作業自動化の機械の特許出願から現地実証等も行っております。

研究所に就職した当初は、オペレーションリサーチ学会で主に活動しており、数理計画とか、確率的なモデルとか、そういうことに関心がありました。これは農業が不確実的な産業であり、不確実性やリスクの下での意思決定を支援する際に必要になる理論や情報システムを開発していました。これもスマート農業における意思決定の研究と言えます。

本日の話は大きく2つ、スマート農業の事例的なことと、私自身のプロジェクトでやっていることをご紹介しますと思います。また、ここは議論になるかと思いますが、デジタル農業のリスク、費用対効果、イノベーションとどう関係しているかについてご紹介したいと思います。

スマート農業の背景

近年、「データセントリック科学」がキーワードとしてよく取り上げられるようになってきていると思います。文部科学省のホームページには「大量の実データを収集して主として計算機上で解析を行い、それを活用することにより、何が起きているかを解明し、また、新しい研究を開拓・推進する科学」と説明されています。「科学」では理論的な考え方が基礎にあり、それを実証するということが長らく主流として行われてきましたが、振り子が右左に振れるように、現在はデータ中心の発想が主流になる時代になっているように思います。よく聞かれるAI、ビッグデータ、ディープラーニング等、全てデータセントリック科学の発想に基づいているのではと感じています。

経済的なビジョンについても、政府および経団連から出されているデータ駆動型経済、データセントリック社会というのも、こういう科学技術の発展と対応するような形で、いろいろな提言がなされているところでは。

スマート農業の背景

- データセントリック科学 (Data Centric Science)
 - 「大量の実データを収集して主として計算機上で解析を行い、それを活用することにより、何が起きているのかを解明し、また、新しい研究を開拓・推進する科学」(文部科学省, 2018)
 - AI, IoT, ビッグデータ, ディープラーニング, ...
- 未来像: データ駆動型経済やデータセントリック社会
 - Society 5.0: 「サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステム
 - 経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会 (Society)
 - 第5期科学技術基本計画において目指すべき未来社会の姿として提唱
 - 「狩猟社会 (Society 1.0), 農耕社会 (Society 2.0), 工業社会 (Society 3.0), 情報社会 (Society 4.0) に続く、新たな社会とされている (内閣府, 2018).
 - 経団連(2017)等からも Society 5.0 の未来像の提言がなされている。

(C)Nareski, Kyushu Univ.

ここからはスマート農業ということですが、農業情報学会が2014年に『スマート農業』、昨年は『新スマート農業』という書籍を刊行しております。この中では、スマート農業を「生産から販売までの各分野がICTをベースとしたインテリジェントなシステムで構成され、高い農業生産性やコスト削減、食の安全性や労働の安全などを実現させる農業」と定義しています。

2013年に農林水産省が研究会を設置したのが公に知られるようになった初めかと思いますが、2018年頃から農業政策の重要な部分になってきております。スマート農業について農林水産省のWEBサイトなどでは「ロボット技術やICTを活用して超省力・高品質生産を実現する新たな農業」と書かれています。

ここでは、何を指すかということですが、超省力とか、大規模生産の実現とか、目的が書いてあるわけです。作物の能力を最大限に発揮するとか、きつい作業、危険な作業から解放するとか、誰もが取り組みやすい農業を実現すると

スマート農業の背景

- 農業情報学会(2014)の「スマート農業」、同(2019)「新スマート農業」
 - 「生産から販売までの各分野がICTをベースとしたインテリジェントなシステムで構成され、高い農業生産性やコスト削減、食の安全性や労働の安全等を実現させる農業」
- 農林水産省(2018)の「スマート農業」
 - 「ロボット技術やICTを活用して超省力・高品質生産を実現する新たな農業」
 - 「スマート農業の実現に向けた研究会」設置、2013年11月)

か、消費者、実需者に安心と信頼を提供するなど、目指すべきところを書いてあります。詳しくは農林水産省のホームページに出ていますので、ご覧いただきたいと思います。

私自身はどういうふうを考えているのかということですが、「スマート」を辞書で引くと「気の利いた」とか「洗練された」などと書かれています。一番重要だと思うのは、刻々と変化する気温、湿度、日射量、あるいは病害虫の発生状況と、そういった状況に応じてきめ細やかで最適な生産管理や経営管理を迅速に行うような農業、極めてしなやかな農業をスマートな農業と言えるのではないかと思います。

スマート農業と農業の技能伝承

実は日本では、人がこれを行ってきたわけです。極めて周密で精密で高度な技術を「匠の技」と言い、いわゆる篤農家、熟練農家と我々が言う方々が、人間の五感をセンサーとして、作物とか家畜の生育状況を肌で感じて、目で見て、耳で聞いて、あるいは、気象、農地の条件なんかも、中には土壌を食べたら味で分かるという方もいらっしゃるようですが、そういうことで状況の変化を的確に感じて、どういうふうに作物を育てたら良いかというビジョン、目標があり、それに近づけるように環境を制御して農作業を行ってきたわけです。

農業法人などの場合、栽培面積が大規模になり、人材育成として従業員の方にこういう技能をどうやって伝承するかという問題に直面しています。そうした技能を若い次の世代の方に継承することを考えると、こうした技能を見て覚えろ、盗んで覚えろ、ではなかなか難しくなっていると思います。こういう技術を「見える化」することによって、その過程で、ICTやロボティクスが関係してきて、これらの技術で、熟練した農業技能を伝えていくということが重要になります。

そこで、環境条件の変化に柔軟に対応して、高収量、高品質の生産を一定以上の規模で省力的に行うことが重要かと思っているのですが、農場全体を最適化するとき、ICTやRTが必要になっ

てくると思います。それでは、零細農家や兼業農家は効果がないのかとよく質問されますが、効果はあるが一定以上の経済規模でやっている農業法人の方が、効果が大きいと感じています。

精密農業、スマート農業、デジタル農業

こうしたスマート農業の考え方はいつ頃からあったのかということですが、1990年頃から海外でだんだん研究されてきて、日本でも海外でもPrecision Farmingや、Precision Agriculture、精密農業といった関連の本も出ています。その後、ブームというか、スマート農業に関する書籍が出版されております。

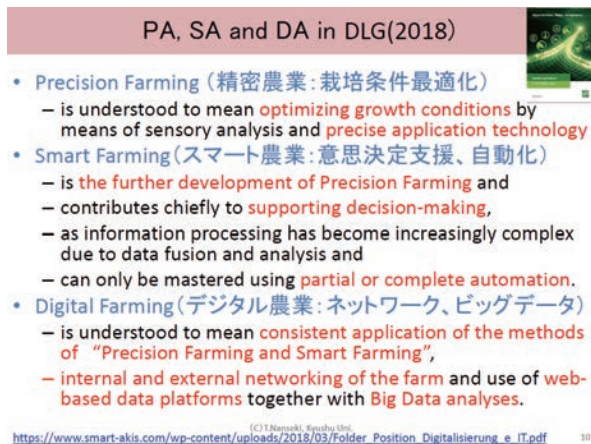
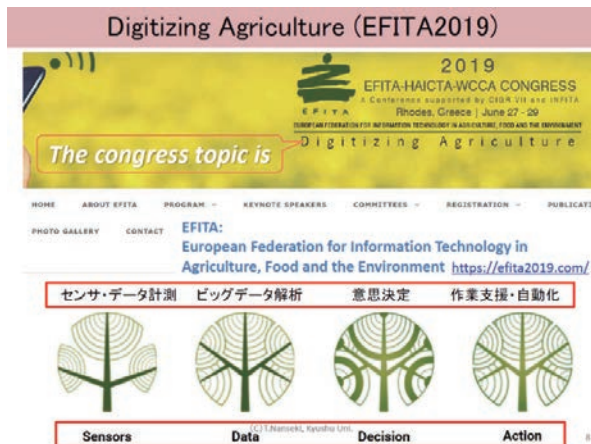
昨年、EFITAというヨーロッパの農業情報系の国際学会がギリシャのロードス島でありました。そのときのポスターには「スマート農業」ではなく、「Digitizing Agriculture」がキーワードになっています。ポスターのキーワードは、Sensors、Data、Decision、Actionで、日本語では、センシング、データ計測、ビッグデータの解析、それに基づく意思決定などと理解できます。何をどうすれば良いのか、意思決定するだけではなくて、実際の農作業を自動化すること、あるいは、農作業を支援すること、Actionと言っていますけれども、近年はこれが重要になってきていると感じています。

ところで、これらの研究領域は何が違うのかという疑問が湧いてくるわけです。Precision Agriculture、Smart Agriculture、Digital Agricultureは何が違うのか。例えば2018年にドイツで出版された「Digital Agriculture」という書籍によれば、Precision Farmingに関しては、圃場ほじょうの中のある収量などのばらつきを最小化するというのが重要な概念になっています。ここではoptimizing growth conditionということで、栽培環境の中で生育する成長を、生育を最大化する条件を最適化していく、例えば、肥料のやり方などですね。それから、precise application technologyというのは、特定の場所、肥料が足りないところ、農薬が必要なところ、そのスポット、ピンポイントで、農薬なり、肥料の散布を行う。これは、ドロ

ーンとかで最近よく出てきますが、このアイデアは昔からあり、農業機械の可変作業機というものでこういうものを実現します。

それがスマート農業になりますと、意思決定を支援、これは農場全体の意思決定の支援ですね。Precision Farmingでも decision makingと出てくるのですが、これは作業ですね。もう1つは、作業の自動化ということですね。最近の農業ロボットなどもここに入ってくるかと思えます。

では、デジタル農業というのは何が違うのか、なかなかスマート農業との境界が分かりにくいですが、ネットワークとビッグデータだろうと思います。スマート農業は、Digital Farmingの中に含まれるような、Precision FarmingはSmart Farmingに含まれるような、包括されるような、そういう概念整理がされています。これ自体も、研究者の間、立場によっていろいろな議論があると思えます。



農林水産省のスマート農業

それでは、農林水産省はどうかというと、農業

技術と先端技術を組み合わせるとスマート農業になると言っているようです。



農林水産省ではこうした考えに基づいて、全国69か所でスマート農業の実証を行なっています。例えば、稲作のスマート農業の例として、全ての生産工程をロボット化していくような絵が出ております。耕起から播種、田植、防除、水管理、収穫、全てをロボット化していくようなのがスマート農業のイメージとして描くビジョンが出ています。ただ、果たしてそうしたスマート農業が稲作にイノベーションをもたらすのか、将来広く普及していくのかについては、いろいろ議論があります。後ほど、私自身の考えも、直接関わった研究プロジェクトの紹介の中で、説明していきたいと思えます。

農匠ナビ研究プロジェクト

「農匠ナビ」の研究プロジェクトを農林水産省予算でかなり長期間実施しました。最初の5年間は農林水産省の委託研究で、「農匠ナビ」という、数字の1000が付かないプロジェクトをやらせていただきました。「農匠ナビ」では、熟練技能の可視化、伝承、これをどうやって支援していくか、そういう技能がどういうインパクトを持つかということを中心にやっていたわけですね。その次に実施した「農匠ナビ1000プロジェクト」では、第1期目の2年間で共同研究機関として農業法人4社に加わっていただきました。農業法人にも予算を配分し学会とかシンポジウムでの研究発表を農業法人の代表や役員、従業員にも行っていただきました。書籍等も連名で執筆していただいています。

農匠ナビ1000プロジェクト(経営者目線の技術パッケージ開発)データフロー



戦後、国や大学等で基本技術を開発し、これを都道府県の農業試験場にローカライズして普及、組織でもって普及(エクステンション)する、という普及のさせ方は、極めてうまく機能したと思います。これは、開発途上国などでは未整備ですから、今でもこの普及のモデルが重要で、日本が貢献できる面は多くあると思います。しかし現在は、農業法人が増えていまして、極めて多様化しているわけですね。それから、従業員も5人とか、10人になってくると、個々の農業経営が必要とする技術というのが、経営によって違うわけです。経営戦略、経営が持っている技術力、ビジネスモデルによって違う農業技術、いろんな農業技術がそれぞれの経営に必要なようになってくるわけです。今までどおり、研究機関やメーカーが開発し、それをローカライズして、農家は使えば良いという発想では、もう恐らく現実に対応できなくなっているという思いが「農匠ナビ1000プロジェクト」のベースにあります。このため、農業経営者に、自分たちが必要な技術なので、自分たちも加わって、責任を持って一緒につくりましょうという、そういう発想で取り組みました。

農作業情報、環境情報、作物情報の可視化

農業情報、現場の情報というのはいくつかに分類できますが、農作業の情報というのは当然、必要になります。これは、例えば、いつ、どこで、誰が、どういう肥料を何kg散布したかということです。かつては野帳とかで記録されていますが、今はICタグとかGPSとか、スマートフォンでもって簡単に記帳できるようになってきています。

もう1つは、作物が育つ生育環境です。我々は、水稻を対象にしていますので、水田の水温や水位、土壌成分、日射量や気温等のデータ、そういうものも当然必要になります。こういう環境情報はどうやって集めるのかというと、プロジェクトを始めた当時は水温とか水位を計測する市販のセンサーはなかったもので、農研機構の吉田智一氏と一緒にそういうセンサーを1,000台作りました。現在はPaddy Watchという商品になり、一般に購入できるようになっています。

それから、一番重要なのは作物情報です。今では収量コンバインとか、ITコンバインと言われるもので、一筆ごとの収量を計測できるようになり、収量マップができるようになりました。土壌分析も

1,000枚全部やりました。それから、生育調査も、これは人力が主になりますが実施しました。こうした3種類の情報を1,000圃場^{ほじょう}で収集して解析しました。

農作業に関しては、どのように農業機械を操作しているか。熟練しているオペレーターと初心者のオペレーターだと、実は精度が違うので、同じ作業はできないのです。例えば1つの圃場^{ほじょう}を耕す、稲刈りするのにかかる時間というのは、当然、熟練者のほうが早いわけですね。ということは、熟練者のほうがコストを下げるができるわけですね。規模が大きくなると、玄米1kg当たりの生産コストは下がっていくのですが、初心者が規模を拡大することもできますが、それよりも熟練者が規模を拡大したほうがよりコストが下がります。我々のシミュレーションだと、2割から3割のコストが低下します。つまり、技能が向上することによって、お米の生産コストも下げることができます。

ではその技能はどうやって若い人、初心者に伝えるかということが課題になってきます。一番簡単な方法は、オペレーターが何を見ているか、何を操作しているか、それをカメラでいろいろな角度から画像で撮って、それを後で再生して、初心者の人にコツを教えるとか、初心者の人が予習するか、復習するかというようなことです。農業機械用のドライブレコーダーですね。一番重要なのは、初心者と熟練者では、見ている場所、視線が全然違うということですね。これは、スポーツなどでもよく言われます。

次に作物の情報ということになりますと、収量コ

ンバインで計測できるようになったわけです。これは、「農匠ナビ1000プロジェクト」に参画した茨城県のある農業法人です。左の下の図は、コシヒカリについて度数分布、一筆ごとの圃場^{ほじょう}の収量分布を描きましたが、これは我々が予想した以上に、圃場^{ほじょう}による収量差があるということが分かりました。これはほみ収量ですが、農場全体でどうやったらこの収量を増やせるかということ、生産量を増やせるかということを考えたときに、成績の悪い、収量の低い圃場^{ほじょう}を平均に上げていくのがやはり容易だと思われれます。収量が高い圃場の収量をさらに向上させるというのは、難易度が高いので、もともと地力がないとか、日当たりが悪いとか、そういうことも全部考慮して、それを収量の低い圃場^{ほじょう}から問題点を潰していくということを考えたわけです。

土壌分析とか成分調査も全部やっていますが、それはいわゆるビッグデータの解析になります。いろいろな分析の結果、1つ重要な要素だと分かったのは水温ですね。水温は、現実には直接コントロールできないので、水位をコントロールすることになります。こうした水管理によって水温も調整できますが、水深や水温の計測にはセンサーが必要になります。プロジェクトで開発したセンサーはこの農場の場合だと、500筆ぐらいありますから、500台ぐらいのセンサーを全ての圃場^{ほじょう}に設置しました。ただ、当時のメッシュネットの最新の技術を使っても、圃場^{ほじょう}にはコンセントが来っていないので、結局、電池駆動だと半年間は給電がもたないこともありました。いろいろ試行錯誤して苦労しましたが、なんとかデータが取れるようになりました。

作業情報計測・可視化 ⇒ 作業効率向上による低コスト化

機械操作技能向上
⇒ 生産コストが2～3割程度低減

伝承・向上 → 作業効率向上
ドライブレコーダーで技能の

作業者視野動画 動画をを用いた振り返り

比較的単調な操作を行うコンバイン作業においても、刈刃、脱穀部、モニター等、経験の浅い作業者は1点のみを見て作業
熟練者は常に平均的にそれぞれの面所に視線を配るなどの違いあり
記録画像を基に、タイムリーな振り返りを行い、熟練者が若手に指導を行えることから、技術の伝承、向上に有効

出典：南石ら(2016) 17

作物情報計測・可視化 ⇒ 圃場別収量向上の契機

収量分布(コシヒカリ)

生産法人4社約1000圃場を対象に、収量コンバインの計測データ(稲収穫量、水分含量、GPS情報等)を、商用クラウドシステム生産履歴システムへ自動取り込み。
圃場別の稲収穫量(水分15%換算)や稼働時間の圃場マップ化、グラフ化等を実現

⇒ 同一品種でも収量格差が想定外に大きい
⇒ 収量向上の余地あり

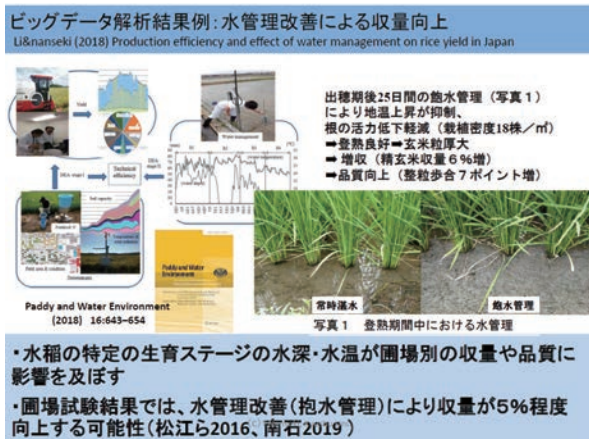
⇒ 圃場別稲収量の可視化・分析

出典：南石ら(2016) 18

ビッグデータ解析と水管理改善の効果

それで、何が分かったかという、水回りは、場合によっては5割ぐらい減らせるということです。それを経済換算すると、100haだと100万円ぐらいにはなると推計できます。また、圃場が500枚にもなると、毎日見回りができませんので、これをセンサーで簡単に見られるようになると、精神的な負担が軽くなりますし、規模を拡大しても同じレベルの管理ができることが期待できます。

さらに、一番我々が重要だと思っているのは、収量とか品質が水管理の改善によって上がってくるということです。その可能性が分かったということです。これは、論文にも書いていますが、収量決定要因と言われる土壌とか、気温とか、そういう要因も全部計測しています。もみのほか、玄米、粗玄米もあれば、精玄米も全部ラボでも分析しました。DEAによる効率性も計算し、水稻の特定の生育ステージの水温が低い方が収量や品質が向上するというのです。その結果は、圃場試験の結果とも一致しています。



例えば、放水管理により水稻の特定の生育ステージの水温が低くなるのですが、それにより登熟が良好になって、玄米粒が厚くなる、それで増収するということです。我々のこの圃場での試験だと、6%ぐらい収量が水管理の改善だけで上がるという結果が得られています。それから、品質に関しては、精粒歩合が7ポイント上がるというような結果も出てきています。

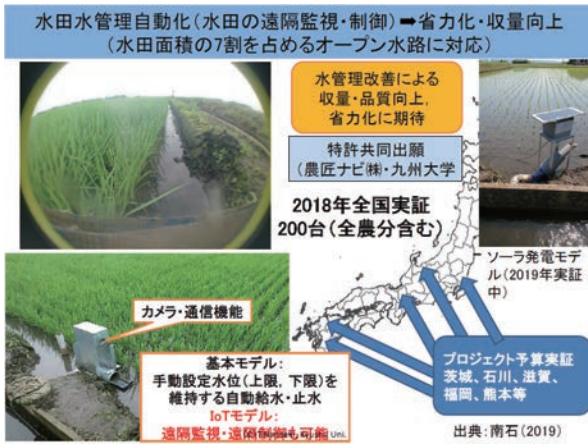
ビッグデータの解析と補助試験の結果をまとめると、水稻の生育、特定の生育ステージの水深と

か水温が、圃場別の収量や品質に結構影響を及ぼすということです。圃場試験は、作物学が専門の、福岡県の試験場の元場長、松江勇次先生にご担当いただきました。圃場試験では5%とか6%との結果ですが、天候も違うので、一般的にいうと、5%程度向上する可能性があるということだと思います。ビッグデータの解析で出てきた結果と、こういう圃場試験で同じ結論になっていますので、確度が高い情報と考えています。

水管理作業の自動化

しかし、周密な水管理を人間がやるとなると、圃場が500枚もあると人手が相当かかります。それは省力化になりませんので、次は、結局、アクションの自動化が課題になります。自動的にそういう水管理ができる道具が必要ということになります。プロジェクトの中では自動給水機と呼んでいますが、こういう獅子脅しみみたいな、極めてシンプルなものです。農機メーカーが造られると、別の方式・形態になると思いますが、我々は、農家目線で、現場で本当に必要なものは何かと考えてやっている、あまり報道的に映える絵にならない形になっています。この方式では、水を止めたいときは、パイプが上に上がる。入れたいときは下がる。これはオープン水路用で、砂とか、水生生物とか、いろいろ流れてきますが、この方式であれば、詰まるということはないです。そのまま通っていただきますということになりますので、現場でさまざまな状況に対応できるメリットがあります。ソーラーパネルのものとか、IoTモデルといってカメラがついて、圃場や水稻の状況をスマートフォンで見ることができ、遠隔で操作できるようなものも造っています。もっとシンプルなものが、費用対効果が高い試算ができています。

ちなみに、カメラとして使っているのは中古のスマートフォンです。通信機能があって、カメラがあって、OSが入っていて十分な機能です。我々の関心は、こうした機械を造ることではなく、こういう機械がどのような効果があるのか、どのぐらいのコストであれば実際の農家に受け入れられるのか



重要になります。そこで実際に試作品を現地実証で見ていただいて、価格分析を行いました。PSM分析とかとマーケティングの分野では言ったりしていますが、結論を言いますと、受容価格帯というのがあって、2万5,000円から4万8,000円ぐらいだったら受け入れられるということです。つまり、農家が欲しいと思う可能性が高いという結果ですね。安ければ良いだろうと思われるかも知れませんが、あまり安いものは、これはきっとどこか落とし穴があるのではと思う農家がいるので、あまり安過ぎるものは信用されないですね。実際、安過ぎると良いものを供給するのも無理です。一方、4万

8,000円より高いと、いくら良くても、今の農家の感覚ではペイしないということです。理想価格は2万7,000円で、かなりの人はこれであれば買いたいと思う価格です。結構関心を持つよねということです。3万円ぐらいでこういうものが供給できたら、農家は恐らく使いたい人は結構いるということです。

ただ、これを実現するのはなかなか難しいということですね。今年の4月から商品化していますが、価格は5万7,000円程度です。価格分析の結果からは高すぎます。製造販売会社も、ボランティアではできませんし、現在の製造ロットではコストがかかります。商品になると、品質保証のコストとか流通コストとかいろいろ必要になります。

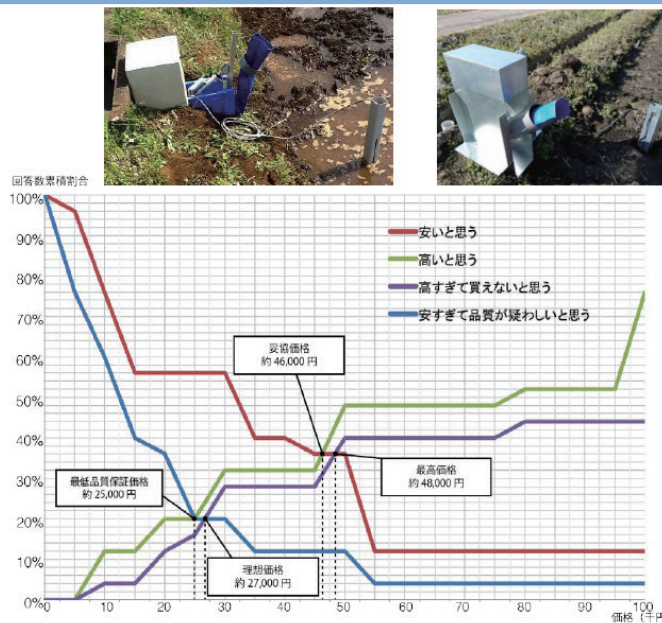
それでは、こうした自動給水機が、農家にどの程度メリットがあるのか試算した結果を紹介します。

これは、農林水産省の地域戦略プロジェクトのパンフレット等で公開されていますので、検索していただいたら出てくると思います。水稻栽培面積50ha規模を想定しています。平均で25aの圃場^{ほしよ}に1台設置を想定しています。モデルは2つあって1つは、IoTモデルで、インターネットで制御できて、スマートフォンで水田の様子を見ることができ

自動給水機の価格分析(試作3号機、基本モデル)

稲作経営者等への価格受容帯に関するアンケート調査

- ・受容価格帯:
25,000~48,000円/台
⇒最低限受け入れられる価格帯
- ・中庸価格:
理想価格27,000円/台
~妥協価格46,000円/台
⇒割高でも割安でもない価格帯
- ・最高価格:
48,000円/台
⇒これ以上の価格設定では普及可能性は低い



遠隔監視制御機能付きのものです。もう1つは、基本モデルで、スタンドアロンで作動して、インターネット接続機能はなく遠隔監視制御はできません。この2つのモデルの費用対効果を比較しています。

結論から言うと、IoTモデルよりも基本モデルのほうが、費用対効果が高いです。50haで収量が上がって省力化になるメリットと、それから、いろんなコストがかかりますので、コストを引いた残りの比較です。結局、差引き50haで58万円しかIoTモデルは農家の実質的な手取り増にならない結果です。この金額は、いろいろな条件によって違ってくるので、あくまで1つの例です。

一方、水田センサーの省力化効果で水回りは2回に1回で良くなったと言いました。自動給水機では計測だけでなく、水管理が自動化されるので、IoTモデルで80%削減と想定しましたが、基本モデルでは控えめに50%削減を想定しています。労働費でいうと、大体、10aで3,500円ですので、50haだと175万円の省力効果があります。収量もIoTモデルの5%の半分の、控えめに2.5%と想定しています。米の販売価格をどうするかで試算結果も変わってきますが、ここでは300円/kgぐらいを一応想定しています。そうしますと、増収効果は169万円になります。

水田水管理自動化の費用対効果
 →省力化と増収の両効果の実現が必要
 →課題：効果を最大限引き出す活用方法確立
 →課題：導入低コストのさらなる低下が課題



表2 50ha経営を想定した場合のシステム導入による効果とコスト増加

効果/コスト	仮定(現地実証成果に基づく)
1. IoTモデル導入による省力化効果	280万円 水管理80% (労働費5.6千円/10a) 削減
2. IoTモデル導入による増収効果	338万円 収量は450kg/10aから5%向上、販売単価300円/kg
3. IoTモデル導入に伴うコスト増加	560万円 自動給水機は25aに1台設置(実用化目標価格8万円、耐用年数5年)、農匠プラットフォーム等のシステム運用費1.2万円/年、合計年間2.8万円/25aのコスト増加。
4. IoTモデル収支 (=1+2-3)	58万円 /50ha
5. 基本モデル導入による省力化効果	175万円 水管理50% (労働費3.5千円/10a) 削減
6. 基本モデル導入による増収効果	169万円 収量は450kg/10aから2.5%向上、販売単価300円/kg
7. 基本モデル導入に伴うコスト増加	200万円 自動給水機は25aに1台設置(実用化目標価格5万円、耐用年数5年)、年間1万円/25aのコスト増加。
8. 基本モデル収支 (=5+6-7)	144万円 /50ha

(C) T.Nameki, Kyushu Univ. 24

コストはどれだけかかるかというと、これはインターネットとかは使いませんので、農家が5万円で導入できる場合、年間で1万円ぐらいの減価償却費がコスト増になります。50haで200万円ぐらいかかる計算になります。差し引きすると、50haで144

万円のプラスになります。大した効果はないと感じた方も多いと思います。しかし、これが現実な線だと思っています。

ちなみに、パイプライン用の自動給水機は、たしか複数のメーカーが出していますが、10万円から15万円ぐらいの間です。私の試算があまり外れていないとすれば、今の10万円以上する自動給水機は、普通の農家であったら、経済的にはペイしないと思います。

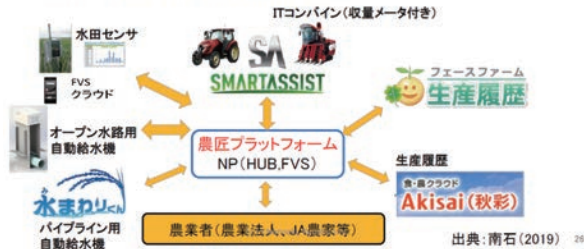
農業経営者のためのプラットフォーム

将来的には、いろいろなデータを融合・統合できるプラットフォームが農業でも不可欠になると思います。農林水産省や総務省は「農業データ連携基盤(通称:WAGRI)」というデータ基盤、プラットフォームを推進しています。「WAGRI」の場合、A農場、B農場、C農場があつて、その情報を、いろいろなメーカー経由、あるいはセンサー企業経由で1つのプラットフォームに集めて、農業以外の企業も含めて、いろいろな人や会社が使えるようにしようという発想だと思います。それも重要ですが、農業経営者にとって一番関心があるのは、自分の農場のいろいろなデータを統合利用できることです。例えば、A農場ならA農場で、いろいろな機械やセンサーも入れていると、自分のデータがいろいろな企業のサーバに分散することになります。現時点では、自分のデータを統合化して分析しようとする、煩雑なデータ処理の手間がかかります。「WAGRI」のような発想もちろん将来、重要だと思いますが、当面、農業経営者から見ると、自分のデータを簡単に総合化して解析できるようにすることです。そこで、こうした構想に基づいて、「農匠ナビ1000プロジェクト」では、農機メーカーやIT企業者の協力も得て、「農匠ナビプラットフォーム」のプロトタイプを試作しました。

そういうものは技術的にはできるし、これが動くようになると、今日お見せしたような圃場の情報、収量のデータ、水の情報、農作業の情報、自分の圃場の農場の中のいろいろな情報を組み合わせ、どの圃場の収量が低い、その原因は土壌が

農業経営視点からみたシステム・データ連携の在り方

- ・ 農匠プラットフォームNPの機能は2種に大別
 - ・ (a)各クラウドシステム間でデータを交換する機能(ハブ機能、NP-HUB)、
 - ・ (b)統合化したデータの可視化や解析を支援する機能(可視化機能、NP-HUB)。
- ・ ハブ機能(NP-HUB)を活用することで、例えば、ITコンバインで計測した収量データと、水田センサで計測した水位・水温データを統合化することが可能になる。
- ・ これらのデータ統合により、収量の度数分布図を表示し、高収量・低収量の圃場の水位・水温のグラフを表示することができる。



よくないからか、あるいは、水管理がよくないのか、そういう解析が簡単にできるようになります。仮に、水管理がうまくできていないところには、さきほどご説明したような自動給水機を設置するという手順になります。全部の圃場に設置するとコストがかかりますから、収量改善が水管理の改善で見込めるようなところだけに集中的にピンポイントで自動給水機を設置していくとか、そういうことができるようになるわけですね。

農業経営におけるICTやスマート農業の導入効果

次は米の生産コストの話ですが、すでにお話ししたような考え方を使得、ICTだけじゃなくて、いろいろな高密度播種とか乾田直播とか、いろいろな農業技術を組み合わせ、実際にコストがどのくらい下がるかということもやっています。「農匠ナビ 1000 プロジェクト」の第2期に参画した茨城県の4つの農場では、3年間でコストが約2割低減を実現したという実証結果が得られています。

重要な事は、ICTを入れたからコストが下がったわけではなくて、それが1つのきっかけになったということです。いろいろなセンサーを入れることで、例えば、育苗管理について農家の意識が変わって、今までよりも優れた苗が作れるようになったというように、基本技術の励行のきっかけにICTになっています。規模が拡大することによるコスト低減も大きな貢献をしていますが、規模拡大しても収量が低下しない対策をICTが可能にする面があります。いずれにしても、それぞれの農場で必要な技術を経営戦略に合わせて組み合わせることによ

て、コストを下げるができるということをこれらの4つの事例は示しています。

稲作経営技術パッケージによる生産コスト低減の実証
米生産費削減を目指したスマート水田農業モデル(茨城県) 出典:南石(2019)

実証経営の戦略・立地に最適な技術パッケージ導入
 → 収量向上。減収せず規模拡大可能
 → 生産コスト2割削減目標を概ね達成!
 ※基本技術励行の効果大。ICTはその契機。



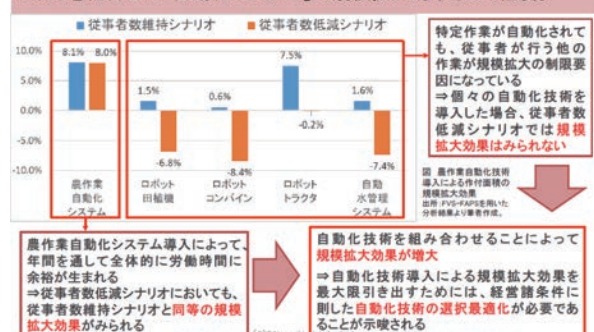
実証法人	エンドウファーム	ライス&グリーン石鳥	南太田農産組合	筑波農場
目指すべき方向性	増収・低コスト・規模拡大	増収・省力化・規模拡大	増収・低コスト・省力化	増収・低コスト・高収益
省力低コスト技術	高密度育苗	乾田直播	乾田直播	高密度育苗
ICT	圃場管理システム	圃場管理システム	圃場管理システム	圃場管理システム
その他	基本技術の励行 病害抵抗性品種	自動給水機 病害抵抗性・多収性品種 農地集積、米輸出	多収性品種 農地集積	病害抵抗性品種 収次産業化
H30産米生産費(%) (M27比) ※見込み	80 (-20%)	81 (-19%) (C) T.Namseki, Aoyoshi Uth.	79 ^{M2} (-21%) 193 ^{M2} (-7%)	84 (-16%)

ここからちょっと「下町ロケット」的な話になりますが、このロボットの研究というのは進んでいます。

これは、農林水産省が描く未来の稲作だと思いますが、まだまだ、現場の感覚では、どんどん広がっていくというふうに直感的に思えないわけです。本当にそういう現場感覚が当たっているのかということを解明するために、数理計画モデルを使って、農業ロボットの導入効果を試算しています。数学的に農場を再現して、雨が1時間ごとに降るアメダスのデータを過去20年間とか、それぞれの農作業の機械の作業能率とか、肥料や農薬の投入量とか、水稻の収量とか、ありとあらゆる必要だと思われる情報を全部モデルに入れて計算しました。200haぐらいの滋賀県や茨城県の農場をモデルにしているのですが、FAPSという私が農林水産省時代に作った確率的最適化システムを使って、研究室の大学院生が計算した結果です。

残念ながら、皆さんが期待するような結果では

無人農機ロボット・自動給水機の最適経営面積拡大効果
 → 季節限定(2~3か月)の特定作業ロボットの効果は限定的。
 これらを組合せた「自動化システム」の規模拡大効果も8%程度。



農作業自動化システム導入によって、年間を通して全体的に労働時間に余裕が生まれる
 ⇒従事者数低減シナリオにおいても、従事者数維持シナリオと同等の規模拡大効果がみられる

自動化技術を組み合わせることによって規模拡大効果が増大
 ⇒自動化技術導入による規模拡大効果を最大限引き出すためには、経営諸条件に則した自動化技術の選択最適化が必要であることが示唆される

ありません。ロボット田植機も、ロボットコンバインも、ロボットトラクターも導入する想定です。今日、ご紹介したような自動給水機も導入する想定です。それぞれ単独で導入したときの効果ですが、一番規模拡大効果の大きいロボットトラクターでも7%程度の効果です。ロボット農機をセットで全部導入(農作業自動化システム)したら8%です。「下町ロケット」だと、全ての問題解決できるほどの夢がありました。現実には解決しないという結果です。

これはなぜかということですが、酪農のことを先にお話したほうが、その理由は分かりやすいと思います。

農作業自動化が最も進んだ酪農と稲作の対比

酪農は、恐らく、作業の自動化が一番進んでいる農業の分野の1つだと思います。オランダの例ですけれども、畜舎のお掃除ロボットです。

24時間365日、文句も一切言わず、休むことなく清掃してくれます。搾乳ロボットは結構な値段ですが、1台あると、50頭から60頭は自動的に乳房の洗浄から搾乳までやってくれますね。自動給餌ロボットは、牛ごとや牛群ごとに、粗飼料の配合から給餌まで行います。牛群ごとに必要な最適な配合飼料のレシピが違うので、そのレシピごとに、農舎にある粗飼料をクレーンがうまく組み合わせて、栄養剤も添加します。水稻でいえば、耕起、田植、防除、収穫、全部自動化されているわけですね。

こうした技術革新が起こると経営も大きく変わる可能性があります。訪問した農場では、牛を100頭飼っていましたが、兼業農家です。兄弟3人で

やっていて、1人は大学生、2人はそれぞれ地元で職業を持っています。今までは、酪農は毎日、給餌や搾乳など色々作業があり、その作業に拘束されてきたわけです。しかし、ほぼ無人でこうした作業が行えるようになったわけです。何かトラブルがあると、メーカーのセンターへ警告・ワーニングを出して、必要ならメーカーのフィールドマンが来て、それでも対処できなければオーナーにSNSや電話で連絡が来るので、緊急のときには、近くで働いている経営者が家に戻って対応できます。3人でやっていますから、朝と夕方は、そのうちの誰かが必ず当番で、出社前と帰宅後、農場を見えています。これが多くの方がイメージとするスマート農業ですね。当然、農作業が楽になるとか、余暇が持てるとか、資本金があれば規模拡大もできます。

ただ、物事、コインの表と裏がありまして、リスクもある。北海道でも問題になりましたが、停電になったときのことを考えていただくと、10頭、20頭だったら手で絞れますが、1,000頭だったらどうでしょう。100頭でも無理ですね。下手すると、乳房炎で牛の命が危ない。長く続けば経営破綻する。我々が目指しているスマート農業の影の部分ですね。当然、電源のバックアップを準備することもできますが、コストは高くなるということです。

ここで疑問になるのは、稲作ではどうして、そういう効果が出ないのかということです。酪農との対比で考えると極めて明瞭です。1つは、稲作では、農作業に季節性があるということです。酪農の場合は同じ農作業を365日やっていますから、自動化することのメリットが大きいといえます。しかし、水稻経営では、100haでも、田植も収穫も2〜3か月です。これが土地利用型におけるロボット化の効果が出にくい理由の1つです。

もう1つは、まだ、各作業の専用ロボットしかないことです。人間型のロボットが今ある農業機械を全部運転してくれるようになれば、ロボット1台があれば良いわけですね。要するに、人間と同じようなことができるロボットなら、そのロボットが全部の農業機械を運転してくれれば、1台あれば費用対



効果が大きくなりますが、まだそこまで技術が進歩していません。現在は、専用ロボットなので、土地利用型では稼働率が上がりません。効果が出ないのは、当たり前とも言えます。

スマート農業の光と影

いろいろ皆さんの予想に反することをお話しているので、まとめ的なこともお話ししたいと思います。デジタル農業には、夢もありますが、いろいろなリスクもあります。物事両面あるわけです。

1つはデータセキュリティです。先ほど、技能の見える化について、我々もそういうことを支援するいろいろなシステムとか、手法などの我々の研究事例も紹介しました。しかし、これはある意味で、リスクを高めている面もあります。人の体の中にあるもの、頭の中にあるものを容易に盗むことはできませんし、転売することもできません。しかし、一旦データとして記録され、それが解析されて、知財的なノウハウになり、あるいはシステムになった途端に、極めて容易に、ほとんどコストをかけずに、意図せざるデータの流通、データ漏えいと言っても良いかも分かりませんが、が可能になります。

また、いろいろなセンサーを設置することで、ネットワークにつながっていますので、農場の中のデータがそのサービス・ベンダーとか、ITサービスのプラットフォームとか、そういうところにデータが流れるわけです。我々は、いわゆるGAFAのいろいろなシステムを使っていますが、いろいろなデータを提供しながら、その対価としての報酬はもらっていません。システムを使わせてもらうのがある意味で報酬です。それによって、GAFAは莫大な富を生んでいます。同じことがデジタル農業でも起こり得ます。農場の場合は、農業生産に直結するデータであり、いわば企業秘密のようなデータです。農場の中で何が起きているか全部記録されるわけですから、それを農場が正当な報酬を支払われないまま使用される、あるいは、データ提供条件を農場がしっかりと理解できる形で契約が交わされているのかという問題があります。

それから、バリューチェーンからの過度のデー

タ開示要求というリスクもあります。消費者は生産の履歴も知りたいので、農場でどういうふうに農薬を使用したか開示しましょうということになるわけですが、我々が購入する加工食品であるとか、工業製品であるとか食品について生産工程の履歴は全て開示されているかというところでもないです。なぜ、農業だけ要求されるのかという疑問です。

また、行政からの過度のデータ開示要求というリスクもあります。どういう法的根拠があるんですかということが最後には問題になってきます。

これ以外に、この書籍（Digital Agriculture DLG (2018)）では記載されていませんが、僕が一番気になるのは、農場の中で発生したデータをプラットフォームが利用していろいろな知財が生まれる可能性です。以前は、農業の場合は、枝変わりとか、そういう新しい知財が出て、それは地域で共有しましょう、私だけで独占しませんよということが、ある意味、美德で、地域農業の発展に貢献してきました。しかし、こういうボーダレスな世界になってくると、国内の農場で生成されたデータが海外に流出し、別の国で意図せざる形で知財化されて、もともとそのオリジナルを作った人が特許で縛られるというリスクも懸念されます。こうしたことも、非現実的な話ではなくなっていると思います。そういうことのリスクが大きいのではないかなと思います。

もっと言えば、そういう知財を手に入れた人が、農作業をしている人たちが本来得るべき報酬を、いわゆる優越的地位の乱用によって、吸い上げるということも十分にあり得ます。仮に、現在の法体

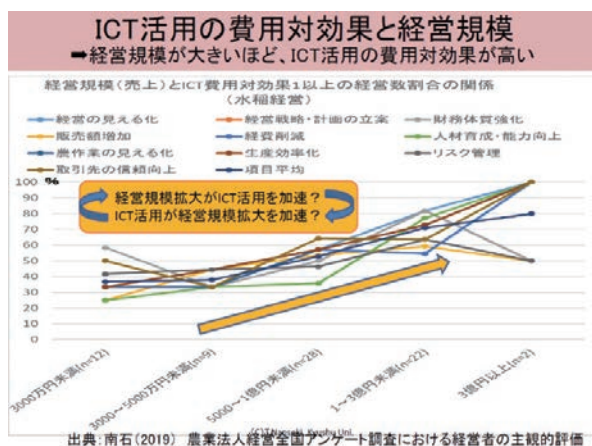


系の下では、違法ではないにしても、実際のリスクとして生じる可能性もあり得ると思います。

ICTの費用対効果と経営規模

次のトピックスは、今日お話したようなICTの効果です。我々が実施しているアンケート調査で、農業法人2,500社ぐらいにアンケート調査票を送って、500社ぐらいから回答を得た結果です。詳しくは拙著（新スマート農業（2019））をご覧くださいのですが、ICT活用の費用対効果はどのぐらいありますかという回答を5段階で聞いて、売上高別に集計すると、売り上げ規模が大きくなっていくと、費用対効果を感じている経営者の割合が増加する傾向があります。

これは、主観的な回答でICTの費用対効果を客観的に計測していないと言われますが、実際にはいろんな要因で売り上げとか利益は変わりますので、ICTに関しては客観的に計測するのは難しいです。経営者の主観的なものですが、大量に観察すれば、一定の客観的な傾向は出てくると思います。



スマート農業と農業イノベーション

最後のトピックスは、イノベーションや経営革新と、スマート農業の関係です。経済協力開発機構（OECD）のオスロ・マニュアルでは、イノベーションを4つに区分しています。オスロ・マニュアル第3版に基づく文部科学省の第4回全国イノベーション調査統計報告書では、プロダクト・イノベーション、プロセス・イノベーション、マーケティング・

イノベーション、組織イノベーションと分けています。

新しいまたは大幅に改善されたサービスの提供を開始するというのは、プロダクト・イノベーションとして定義されています。例えば、バーチャルとリアル融合した市民農園や体験農場などは、コロナ的な状況を考えると、新しいビジネスモデルとなり得るようにも思います。

それから、プロセス・イノベーションは、同じ農産物を作るプロセスが改善される、飛躍的によくなるということなので、今日お話したようなスマート農業が関係してきます。生産工程にも関係しています。

今日はお話ししませんでした、マーケティング・イノベーションについても、SNSとかeコマースとか、そういうものが関係しています。

また、組織イノベーションに関しては、情報共有とか作業の指示とか、極めて柔軟な、柔軟性のあるしなやかな形の新しい業務遂行の仕組みもICTの活用で実現する可能性があります。伝統的な口頭の朝礼という形態とは異なる形態が、新たな組織形態を生む可能性があります。オフィスだけじゃなくて、フィールドでもそうした新たな組織が実現するようにも思います。

イノベーション（経営革新）とスマート農業SA・DX	
赤字：スマート農業・DXが、イノベーションの契機になる可能性がある項目	
イノベーションの区分	イノベーションの内容
プロダクト・イノベーション	(1) 新しいまたは大幅に改善した生産物・製品の生産・販売を開始。 (2) 新しいまたは大幅に改善したサービスの提供を開始⇒例：リアル・バーチャル融合の市民農園・体験農場
プロセス・イノベーション	(1) 新しいまたは大幅に改善した生産工程を導入⇒例：SA (2) 新しいまたは大幅に改善した配送方法・流通方法を導入 (3) 生産工程・配送方法を支援するための新しいまたは大幅に改善したシステムや仕組みを導入⇒例：SA
マーケティング・イノベーション	(1) 製品・サービスの外見上のデザインの大規模な変更。 (2) 新しい販売促進のための媒体・手法を導入⇒例：SNS、EC (3) 新しい販売経路を開拓⇒例：EC (4) 新しい価格設定方法を導入⇒例：EC
組織イノベーション	(1) 業務遂行の新しい方法や手順を導入⇒例：SA（情報共有・作業指示） (2) 権限の譲渡や仕事の振り分け・編成等の新しい方法や手順を導入。 (3) 他社や他機関等の社外関係に関する新しい方法や手順を導入。

出典：文部科学省「第4回全国イノベーション調査統計報告書」(OECDオスロ・マニュアル(第3版)準拠)に基づき、筆者加筆修正

まとめ

最後に、まとめです。最初に、精密農業、スマート農業、デジタル農業というように発展してきているが、どこが違うのかという話をしました。

2番目にスマート農業の意義と課題ということで、ICTの活用により、増収とか、省力化とか、コスト

削減とか、経営改善が期待できるが、それはあくまで、ICTはきっかけの役割を果たすということをお話しました。ICTやRT(ロボット)を導入したら、いろいろな問題が解決して経営がよくなるというようなものではない、というのが私の実感です。それから、省力化と増収の両輪が重要で、省力化だけではやはりなかなかこうした技術はペイしないというお話もしました。

それから、酪農との対比で、稲作の例でお話したように、季節が限定されている特定作業の自動化というのは、費用対効果が限定的ということもお話しました。また、農場で発生するデータそれ自体、あるいは、それから得られる知的財産権の帰属とか利益配分の問題が、恐らく今後発生して、問題になってくるのだろうということもお話しました。

ところで、スマート農業技術の特徴、今までの技術とスマート農業の違いについて、最後に触れたいと思います。ITとそれまでの技術の違いですが、プログラミングは能力のある人がパソコン1台あればかなり本格的なシステムを短時間で作ることができます。しかし、パソコンを造るのには、工場、設備も要ります。スタッフも必要です。もちろん、最終的なサービスまで考えると、いろいろな法律の問題とか、いろいろなチューニングが必要になってくるので、ある程度組織が必要になってきますが、最初のプロトタイプは個人で作れるという点が大きな特徴だと思います。また、2つ目のITの特徴は、一旦プロトタイプ(原型)ができると、その製造、つまりコピーは、ほとんどコストをかけずに一瞬でできます。皆さん、PCのファイルをコピーしていると思いますが、一瞬でコピーできます。一瞬で100個だろうが、1万個だろうが容易にできる。

それが自動給水機みたいな機械の場合は、1台造ると、100台造るので全く違うラインが必要になってくる。一方、ITや情報システムはスケールアビリティが高く、優れたサービス、工夫されたサービスであれば、世界中をすぐ席卷できる特徴があります。

ただし、農業の場合は、農業生産の過程がロ

一カライズされていますので、正直、我々が使っているようなスマートフォンのサービスのように一気に同じものが世界に普及するとは言えませんが、ほかの農業機械とか、そういうものに比べると、極めてそのスケールアビリティは大きいという特徴があります。

それから、ITを導入すると、誰でも農業ができるようになる、農林水産省のホームページにもそれを目指していると書いてありますが、これは魅力的な未来か否かには疑問もあります。誰でもできる職業ならきっと報酬・対価も低いでしょうから、農業をやろうと思っている人だったら、あまり魅力的には感じないように思います。本当にITやスマート農業の効果を得るためには、やはり使う人の戦略性とか能力に依存するという気がします。誰でも効果が上がるような仕組みができれば、おそらくプラットフォーマーが全部おいしいところを持っていくという気がします。そうすると、プラットフォーマーのビジネスモデルに組み込まれる人が多いような気がします。

それから、スマート農業と農業イノベーションですが、一番重要なのは、やはりICTとか、スマート農業というものは、プラスの面もありますけど、負の面、陰、全て両面があるということです。負の面、こういうリスクに対して、法的にどのように保護していくのかということが課題になります。データに所有権は、まだ認められていないと思いますが、こういう面の法的な整備をどうするのかと課題があります。また、スマート農業が普及すると停電の際に生産ができなくなる可能性もあり大きなリスクになります。

その一方で、スマート農業には、経営改善や経営規模拡大を通して、農業構造の変革を誘発する力は十分持っていると思います。そういう意味でいうと、広い意味での農業イノベーションのトリガーにはなる、あるいは、なりつつある、もうなっているのかもしれないと思います。

本日の話題の多くは、参考文献に示している拙著や農業情報学会編の書籍に基づいています。

詳細はこれらをご参考いただければ幸いです。これで私のお話を終わりにさせていただきたいと思

います。どうぞ清聴ありがとうございました。

本研究は、科研(19H00960)および農匠ナビ1000等の研究成果に基づいています。

- 農業情報学会[編]『新スマート農業』(農林統計出版、2019年)
 南石晃明[編著]『稲作スマート農業の実践と次世代経営展望』(養賢堂、2019年)
 南石晃明・長命洋佑・松江勇次[編著]『TPP時代の稲作経営革新とスマート農業—営農技術パッケージとICT活用—』(養賢堂、2016年)
 南石晃明・飯國芳明・土田志郎[編著]『農業革新と人材育成システム—国際比較と次世代日本農業への含意』(農林統計出版、2014年)
 南石晃明・藤井吉隆[編著]『農業新時代の技術・技能伝承—ICTによる営農可視化と人材育成』農林統計出版
 南石晃明, 第2章 稲作経営における生産コスト低減の可能性と経営戦略, 伊東正一[編著]世界のジャポニカ米市場と日本産米の競争力, 農林統計出版, pp.37-54, 2015.11.
 南石晃明[編著]『農業におけるリスクと情報のマネジメント』(農林統計出版, 2011年)
 日本農業経営学会[編]南石晃明・土田志郎・木南章・木村伸男[責任編集]『次世代土地利用型農業と企業経営—家族経営の発展と企業参入—』(養賢堂, 2011年)

