

## スマート農業シンポジウム「スマート農業の社会実装加速化に向けて」 第I部 スマートフードチェーンを支える分光分析技術

農業の担い手の確保、耕作放棄地の活用、さら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研究会（座長：生源寺真一 福島大学農学群 食農学類長 教授）を立上げて、変貌していく農業について研究を進めています。

このたび、農林水産省、東海農政局、農研機構とスマート農業シンポジウム「スマート農業の社会実装加速化に向けて」を開催しました。第I部では持続可能な食料生産におけるスマート農業の役割、生産から流通、消費まで、スマートフードチェーンを支える光の技術に着目し、最新の状況に関する情報提供と議論を行いましたので、その内容について報告いたします。（文責事務局）

日時：2021年12月3日（金） 10：00～12：30（第I部）

会場：名古屋国際会議場 224会議室（ONLINE配信併用）

主催：農林水産省、東海農政局、農研機構  
公益財団法人中部圏社会経済研究所

後援：東海地域デジタル化推進フォーラム、一般社団法人中部経済連合会



### ■開会挨拶

農林水産省東海農政局長  
小林 勝利 氏



本日はスマート農業シンポジウムに多数ご参加いただきありがとうございます。

さて、我が国の食料・農林水産業は、大規模自然災害・地球温暖化、生産者の減少等の生産基盤の脆弱化などの政策課題に直面しており、将来にわたって食料の安定供給を図るためには、災害や温暖化に強く、生産者の減少やポストコロナも見据えた農林水産行政を推進していく必要があります。

このため、農林水産省では、今年5月に食料・

農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現する「みどりの食料システム戦略」を策定しました。この中でも、「スマート農業」は省力化をはじめ減農薬や減化学肥料の栽培など環境負荷低減を実現する先端技術として、その果たす役割は重要なものとなっています。

本日のスマート農業シンポジウムでは、このような情勢を踏まえつつ、「スマート農業の社会実装加速化に向けて」をテーマに、第1部で、スマートフードチェーンを支えるデータ活用について考えます。

本日のシンポジウムにより、ご参加の皆さまが、スマート農業に一層のご関心を持ち、それぞれのお立場においてスマート農業の社会実装加速化に向けご尽力いただくきっかけになれば幸いです。本日はどうぞよろしくお願いたします。

## ■ 基調講演

### 蛍光分光法を活用した持続可能な食料供給を支えるスマート技術

京都大学大学院農学研究科 教授 近藤 直 氏



1984年 京都大学大学院農学研究科  
修士課程修了  
1985年 岡山大学農学部助手  
1993年 岡山大学助教授  
2000年 石井工業(株)※技術開発部部长  
2003年 石井工業(株)取締役  
2006年 愛媛大学教授  
2007年 京都大学教授  
2017年 農業食料工学会長 (～2021年)  
※2004年にエスアイ精工(株)、2011年から現在のシブヤ精工(株)

近藤でございます。今日は「蛍光分光法を活用した持続可能な食料供給を支えるスマート技術」のタイトルでお話しさせていただきます。

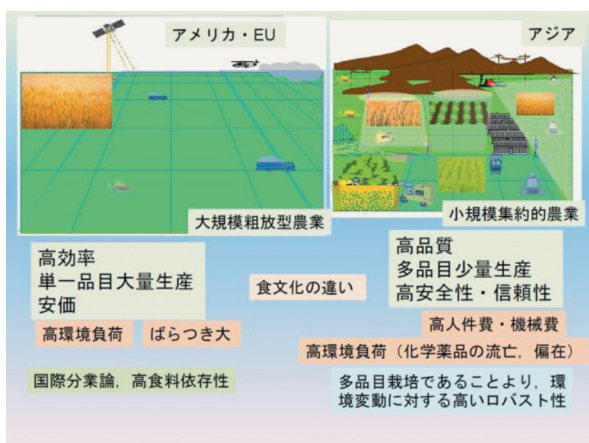


図1-1. 欧米とアジアの農業の違い

まず、アジアとアメリカ、ヨーロッパの違い(図1-1)ですが、品質はもちろんのこと、最近は特に環境の面、持続性の面からも農業生産の方法を再検討すべきと考えています。アメリカやヨーロッパでは高効率で安い農産物を大量生産する一方、日本やアジアは小規模で少量ですが、多品目、高品質、かつ安全性にプライオリティを置いた農業であると言えます。問題点は、アメリカの場合、ばらつきが多く、大規模圃場では平地でなく高低差のあるうねったところも散見され、そこでは均一性が失われ、生産物のばらつきが大き

くなります。日本やアジアの米生産は水田という水を正確に扱うことより、小規模ですがフラットな圃場(ほじょう)で非常に均一です。デメリットとしては人件費や機械費がかさむため、効率は必ずしも高いとは言えず、生産物は高価になりがちです。環境負荷の点においては、日本やアジアはアメリカやヨーロッパ以上に農薬や肥料を投入しており、しばしば問題になっています。圃場からの肥料成分の流亡(ほじょう)、圃場内のリンやカリウムの偏在を耳にされた方も多いと思いますが、それらはまだ解決できていません。国際分業論の話も昔から議論されているものの、飢饉の時に必要な食料を他国からスムーズに輸入可能か否かという点については難しいと言わざるを得ないと思います。世界には飽食の先進国がある一方で、8億人の人が飢えに苦しんでいる現状があり、それらの国々への技術サポート、各国の食文化の継承の立場からも、それぞれの地域が食料生産できる技術と体制を構築するというのが基本でしょう。その際、地域の文化を考慮したセンシングなり機械化を行っていくことが必要と考えています。

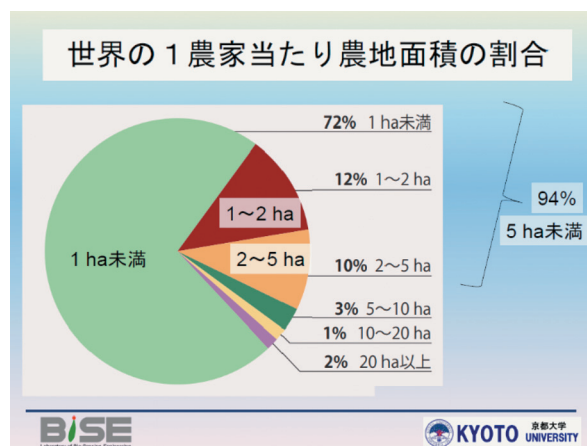


図1-2. 世界の1農家あたりの農地面積の割合

世界の統計的な話を続けると、全体では圧倒的に小規模農家が多い(図1-2)といえます。欧米のような大型の圃場(ほじょう)、例えば100ヘクタール(以下、「ha」)規模の圃場を持つ農家は、ほんの一握りで、全体としては94%の農家が5ha以下の規模です。日本の代表というわけではありません

が、私の故郷の愛媛県松山の郊外、つくば、帯広、そして中国の鄭州をグーグルマップ等の衛星画像で比べて見ても、農地の規模に大きな違いはありません。アジアの多くの地域では、農地の区画が一辺150~200mで、その中で異なる作物を生育しています。若干広いのが帯広で1区画500mです。一方、アメリカのアイオワ州では1区画1,500mの農地がみられ、1,000haの農地を所有する農家もいました。そこでは、ほぼ全面同じ作物を栽培していることもアジアとは異なっていました。

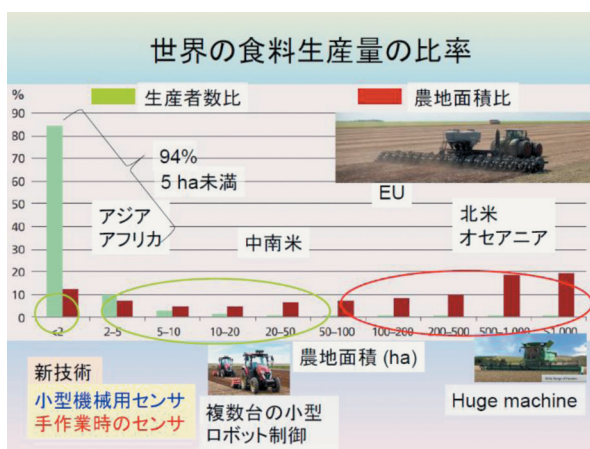


図1-3. 世界の食料生産量の比較

図1-3は、それぞれの農地面積の規模で食料生産に貢献する比率を表しています。世界の大規模農家は数が少なくても生産量に貢献しており、20ha以上の農家が2%しかいないにもかかわらず、世界の食料の約7割を生産しています。ただ、地域によって生産規模は異なるため、農業の内容やスタイルも異なることが理解容易かと思えます。

日本では比較的大きな経営面積の10haから100ha未満のところで、1人の作業者が複数台の小型ロボットを扱うような実証試験が行われていますが、2haに満たないところはどのようなシステムが導入されるのでしょうか。また、中山間地には1haに満たない農家が約半数いて、それらの人たちのための技術がまだ開発されていません。また、世界には1ha未満の小規模農家はアジア、アフリカを中心に70%以上います。地域でまとめてロボットを導入するなどという大雑把な議論で

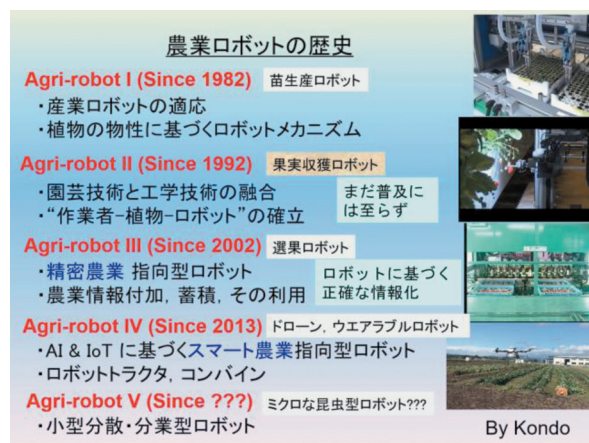


図1-4. 農業ロボットの歴史

はなく、地域の背景や栽培条件に合わせたシステムの導入が必要と思います。

農業ロボットの話をするときにはよく、図1-4に示した農業ロボットの歴史を説明します。1982年頃から農業ロボットという言葉が使われ始め、10年置きに新しい技術コンセプト、あるいはポリシーの転換を積み重ねてきました。果実収穫ロボットは、1982年に報告されて以来、90年代に研究が活発に行われましたが、まだ普及には至っていません。その後、選果ロボットが精密農業を志向する形で開発されました。現在は、ご存知の通りドローンや人工知能など、ロボットトラクターも含めて開発中あるいは実証試験中です。このような中で、1ha以下の中山間地で農業を行っている方々のために、今後どのように考えるかを、若い人たちと一緒に議論をしています。1つの方向性は、小型分散型で分業型のロボットだろうと考えています。

農業だけでなく畜産業、水産業においても、ロボットや機械の導入は重要な要因ですが、環境負荷の側面およびアニマルウェルフェアの問題について対処すべき時代になってきました。それらを考慮したものが2021年5月に農林水産省から出されたみどりの食料システム戦略（以下、「みどり戦略」）という政策です（図1-5）。

その図に示した通り、農林業由来の温室効果ガスは全体の4分の1を占めています。ただ、農業の場合はCO<sub>2</sub>だけでなく、メタンや亜酸化窒素素



するための情報収集が必要です。農薬の削減については、病虫害の早期発見が鍵になります。また、除草においても薬剤でなくできるだけ機械を用いた中耕を行うことが推奨されます。

収穫時に、黄色い大豆として利用する際、熟度は大きな問題になりませんが、枝豆として利用する場合は、収穫適期の判断を適切に行う必要があります。また、機械収穫時に大豆の枝のたわみから生じる5%~10%のロスも最小限にする必要があります。

収穫後もいろいろなロスがあり、品質の等級がA、B、Cの場合、等級Cに紫斑病やしわ粒等、ともすれば廃棄されたり圃場<sup>ほじょう</sup>にすき込まれたりするものが含まれます。しかし、紫斑病に罹患した大豆は表面が変色しているだけなので、おからとしては使えませんが、豆乳、豆腐には使えます。しわ粒も、表面が乾燥してしわがついたものなので、豆乳を作る際の水浸時間を適切に長く行えば、ロス削減が可能です。さらに、豆腐製造時には、通常大量の水に浸しますが、この使用水量削減のため、最近開発された充填豆腐の技術があります。1つのパックの中に豆乳とにがりを入れ、パックの中で豆腐にする技術ですが、味や風味なども、通常豆腐に近づける技術が開発されています。近い将来、我が国でも水資源の有効利用や排水問題に対処すべき状況となる可能性を心配しています。

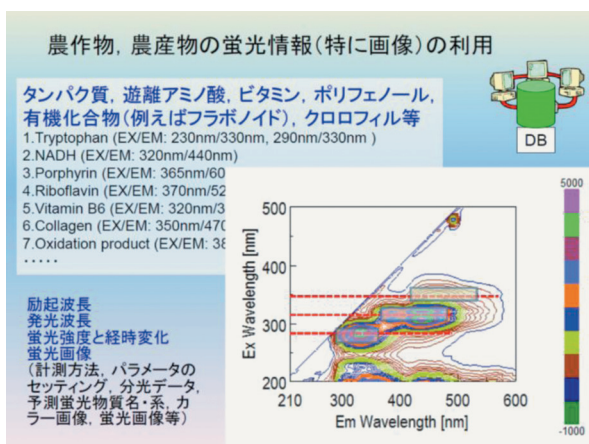


図1-8. 農産物の蛍光情報の利用

本日の本題の蛍光分光はほとんどすべての農畜

水産物に関係のある技術です。というのは、ほとんどの農畜水産物には、クロロフィル、タンパク質、アミノ酸、ビタミン、有機化合物等の蛍光物質のうち、いずれかあるいは複数含まれているからです。例として、牛肉に含まれる蛍光物質の励起波長と蛍光波長の分布を三次元的に示したものを図1-8に示しました。縦軸が励起波長で横軸は発光波長です。この図から紫外線の光を当てると青色に光り、そこには複数の蛍光ピークが見えることがわかります。これらを解析すると、いろいろな農産物の品質、成分分析、キズの有無など蛍光反応を通じた計測が可能になります。

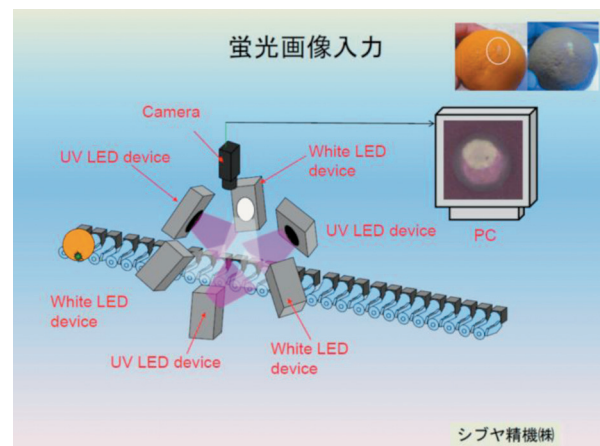


図1-9. 蛍光画像入力

図1-9にシブヤ精機様の選果装置の模式図を示しました。白色の光を当てるとカラー画像が、紫外線を当てると蛍光画像が撮影できることから、LEDを切り替えることで、ほぼ同時に2種類の画像が得られます。この装置では、色、形状、寸法のみならず、見えにくいピンホールや生傷等を検出できます。もし、傷を持つミカンが箱の中にあると、その傷から細菌が侵入して腐敗が進みます。その現象が傷を持つ果実のみならず、健全な果実にまで及ぶことが良くあるため、腐敗が進んでいないもの、微小な傷を検出分別することはロスを削減する重要な技術です。温帯の日本はまだしも、ASEANなど熱帯地域では2週間程度の間箱ごと全部腐敗することも珍しくありません。



図1-10. みかんの蛍光画像

今ではこのような微小傷を有する果実を選別できるような装置が現場に導入されています。特に、レモンのように長期間貯蔵するものはこのような装置で選別した後、貯蔵することが推奨されます。温州ミカンは黄色に、レモンは青く光りますが、その蛍光物質はフラボノイド系とクマリン系の違いのあることがわかっています(図1-10)。

ただ、ミカンにもいろいろな表皮状態があり、図1-10(左)のようなものもあります。これは葉が付いていた痕だとか、農薬の塊がついた痕跡だとか、表皮のヤケ等によるものです。それらの表皮のクチクラ層の状態により、腐敗を生む傷ではないものの蛍光するものがあります。この辺りも、AIで判別する試みがなされているようです。他にも微小なキズからクロロフィル蛍光が現れるものや人参のように肥料の違いが異なる蛍光反応を生むものがあります。トマトの果実は収穫してから流通、貯蔵中に赤色が濃くなりますが、蛍光画像ではドラスティックに明るく変化します。これより、食べ頃や鮮度に関わる情報も分かります。

ブドウは、まだ選果機が出来てない果実の一つですが、これも画像解析をうまく使えば、熟度情報等を得ることができます。ブドウにはアントシアニンが含まれていて、pHによって色が変わるので、カラー画像において酸度の強いものは赤味が強く、酸度の低いものは青色成分が強くなる傾向があります。また、蛍光画像ではクロロフィルが果皮に多く含まれる場合は赤くなります。通常

クロロフィルは多いほど酸が高い傾向にありますので、これらの画像情報より、収穫のタイミングや糖酸度がある程度推定できるのではないかと考えています。

イチゴは果実の先端部分(果頂部)から成熟するため、先端から腐敗も早く進みます。この部分は表皮が薄くなると蛍光強度が強くなりますので、棚持ち情報を得ることもできます。

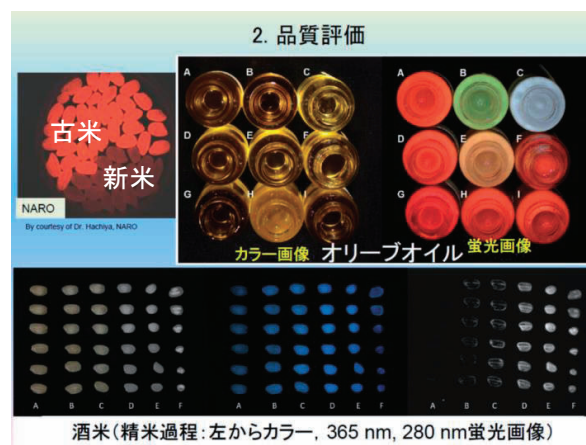


図1-11.品質評価

図1-11には農研機構農業機械研究部門知能化農機研究領域の八谷満氏から提供されたコメの蛍光画像がありますが、このように古米と新米とは違いが出ます。また、近年家庭で使用量が増えたオリーブオイルの品質もクロロフィル蛍光でわかります。ほとんどのエクストラバージンオイルは赤く蛍光しました。酒米の精米過程においても精密に削ることが芯白の蛍光からできそうです。病虫害の早期発見においても蛍光させると幼虫自身、その排泄物や抜け殻、食害の痕等がかなり強く光りますので、夜の蛍光モニタリングに期待しています。

図1-12は光合成の活性度を表した蛍光画像です。強く赤い色の葉は陰であり光合成がなされていない葉で、クロロフィルが葉表面の細胞の表皮側に位置している状態と考えられます。太陽の光が十分当たると、クロロフィルは独自の逃避運動メカニズムで表皮側から壁側に移動することが知られています。残留農薬についても現在までの



図1-12. 活性度

データ蓄積によると、今使われている農薬の半分ぐらいは蛍光することがわかっていますが、逆に半分は蛍光しないことより、積極的に蛍光物質を利用し、蛍光反応で検出容易にする仕組みも、産官学で協力して検討することが期待されます。

抹茶にはいろいろなアミノ酸が含まれており、それらの含有量も蛍光分光で測ることができます。これは京都府の茶業研究所と一緒に特許を申請しているところですが、代表的なところでアルギニン、テアニン、カテキン、カフェインなどの量が検出できます。

ダイズ等の葉ヤケやモザイク病も蛍光させるとはっきりと確認できるものもあることより、病気の早期発見に貢献できるものもあると考えています。最後に、蛍光画像では生産物の表面の模様の違いが観察されます。目視では分かりませんが、図1-13のように蛍光させるとピーマンやトウガラシ類は一部が青や白色の斑点や斑紋が見られます。これも前述したように、種々の理由によってクチクラ層の厚さや表皮の性質の違いが生まれたものと考えられます。

図1-13中のブドウ(巨峰)の表皮には農薬の痕跡とみられるものが、ナスでは「ボケ」ている箇所が強く強い蛍光が観察できます。そのほか多くの果実表面の模様の違いも見られることから農産物のラベルフリー個体識別などに応用できるのではないかと期待しているところです。

例えば、病虫害を早期発見するためのドローン

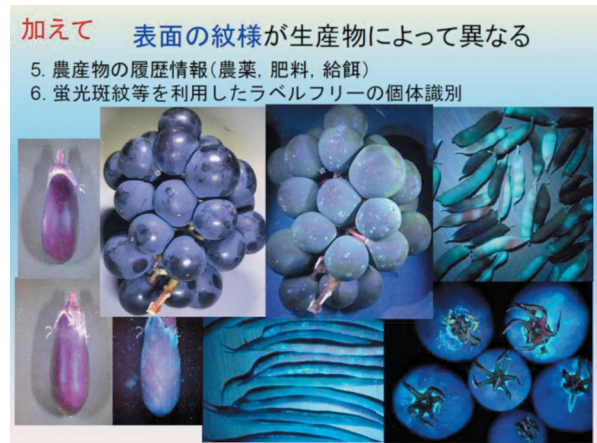


図1-13. 蛍光画像を活用した個体識別

や小形分散型ロボットで、カラー画像と蛍光画像を圃場で夜間に撮影し、選果場で撮影したデータと比較することにより、その果実がどの圃場のどの株から収穫されたかまで分かる可能性があります(図1-14)。そうすると今までは園地評価までだったものが、株毎の評価が可能となります。さらに消費者が冷蔵庫の中の野菜に問題を見つけた時、その野菜がどこから来たのか、データベースを用いれば追跡できる可能性もあります。



図1-14. 蛍光斑紋画像によるモニタリング

ここで収穫後の施設についてまとめますと、1970年代に機械化が行われ、90年代に非破壊検査が導入され、続く2000年代には精密農業の概念が浸透し始めました。2010年代にはカンキツにおいて蛍光画像の活用が始まり、現在ではロボット等の導入もあります。次に若い世代の方と共に考え





名度を伸ばしています。以前はアメリカやオーストラリアの牛肉は赤肉のイメージが強かったのですが、現在の放牧を行っているオーストラリア産 Wagyuでも図1-17のように和牛の遺伝的特性より、高品質な肉が生産されています。つまり、日本の様なビタミンAのコントロールなしで放牧でも品質の高い牛肉生産ができるため、アニマルウェルフェアの団体が日本の和牛生産に対して意見をいう時代がくるかもしれません。



図1-18. 自動化とスマート畜産

乳牛に関しては、搾乳ロボットが普及しいろいろなデータが取れるようになったので、給餌や環境情報に対する乳質との関係が蓄積されてきましたが、肉牛に関してはまだほとんど実現していません。我々の研究室では10年以上前からカメラで肉牛の目を見てビタミンを計測する研究を行っています。株式会社藤原製作所では、採取した血液を、血清など前処理をして蛍光でビタミンAを測定する装置を販売していますが（図1-18）、当研究室では肉牛の耳の裏の静脈から、わずかな血液を採取し、血清を作ることなく、そのまま高精度でビタミンAを計測する技術も開発できました。これらの装置をうまく使い、今後はアニマルウェルフェアの面からもストレスをかけることなく肉牛の健康情報等を収集・蓄積することが望まれます。

一方、メタンガスの測定に関しては、現在のガス警報器と原理はほぼ一緒ですので、今後必要に

応じて導入、改善する必要があるかもしれません。ただ、乳牛舎は囲われていてブローアの排気口にガス警報器を置いておけばメタンは測れそうですが、肉牛は吹きさらしの牛舎が多いので測定は容易ではありません。いずれにしても、いかに高品質なデータを蓄積するかということがスマート畜産の鍵になると考えています。

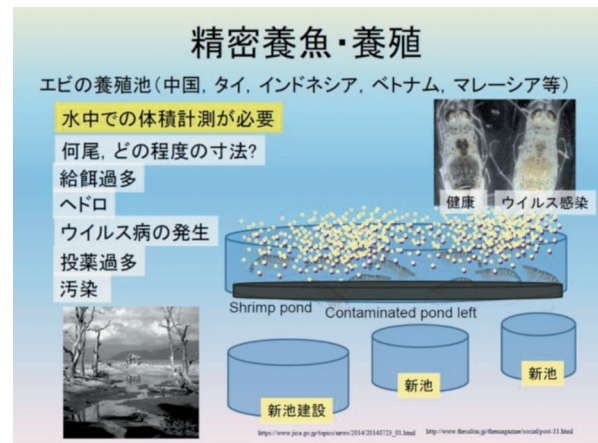


図1-19. 精密養魚・養殖

水産も地球環境に対する負荷が多いのは農業と同様です。現在、養殖生けすの中の情報は正確には水揚げするまでわからないため、そのモニタリングが切望されています。その情報は給餌計画や出荷計画を立てるために生産者にとって重要な情報となります。たとえば、図1-19はASEAN等のエビの養殖池の例ですが、池の中のエビの大きさや数がはっきりと分からないことより、多量に給餌し、ヘドロが形成されます。ヘドロは次にウイルス感染など、病気の温床になりますので、抗生物質を使用します。そうすると水揚げ後は次の年に使えない汚染された池が残ります。他の研究によると、この汚染された池は再生されるのに約20年もかかるそうです。

魚関係でも前述した蛍光反応が使えるところがあり、アニサキスの検査装置は株式会社インダと一緒に開発済です。また、魚の目や鱗の蛍光反応を利用し、蛍光物質が酸化や分解により変化する反応を、鮮度の指標として使う研究も当研究室で行っています。

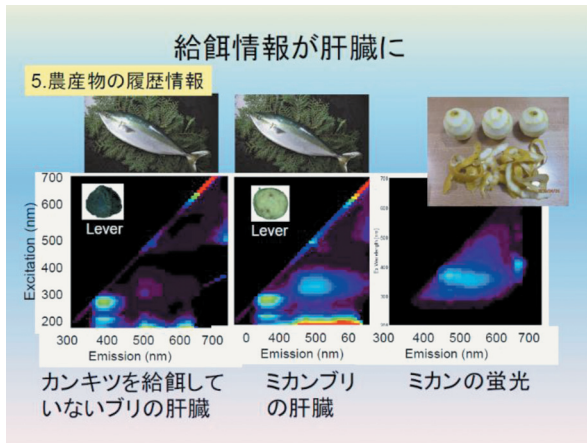


図1-20. 給餌情報が肝臓に

最近ではブランド魚というのが各地で生産されており、ミカンブリや、ユズ、スダチ、ハーブなど、いろいろな地域の特産物を餌に混ぜて魚に与えています。それらの餌の中にも蛍光物質が含まれていますので(図1-20)、肝臓を蛍光反応させると、図中の写真のように色が変わります。

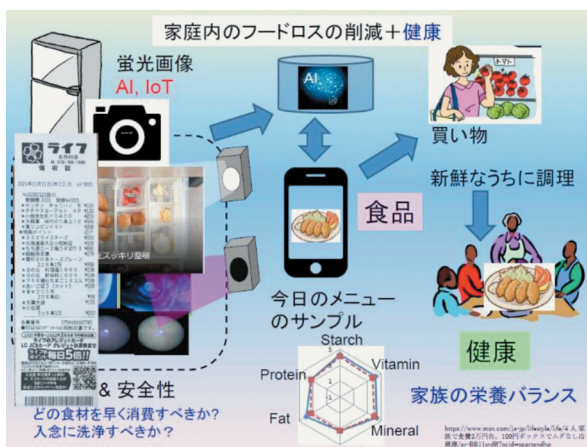


図1-21. 家庭内のフードロスの削減

冷蔵庫の中の食材も、蛍光反応で日持ちや安全性が判断できれば、その情報から献立の例を提供するアプリとの連携で、食品ロスの削減にも貢献可能でいろいろなオプションが期待できます。さらには、冷蔵庫の情報より、家族の栄養バランスも管理できる可能性も遠くないと考えられます(図1-21)。

これまでの歴史を振り返りますと、戦後はやはり食料の量が大事でした(図1-22)。それから

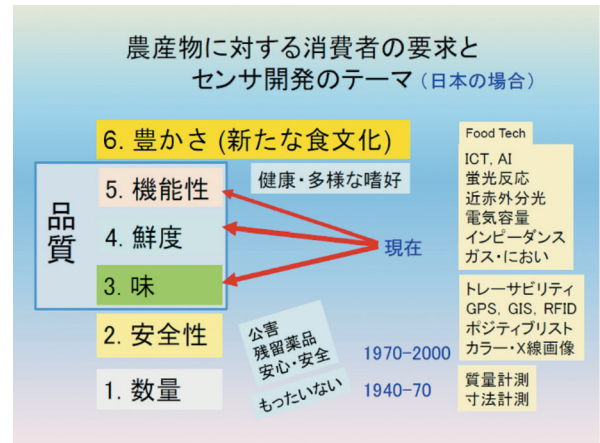


図1-22. 農産物に対する消費者の要求とセンサ開発のテーマ

公害、残留農薬などが問題になり安全性への関心が高まりました。現在は個々の品質、味、鮮度、機能性などの品質を得る技術が発展してきました。次はこの先、若い人たちの世代で新しい食文化をつくるFood Techが重要になってくる可能性が高いと思います。

圃場での生産ロスが約3割あり、選別、流通、貯蔵時もロスが見受けられる。また、調理時のロスや無駄遣い、食べ残しもあります。通常のゴミは分別され、ペットボトルやプラスチック、ビンや缶などと紙ごみは分けられますが、生ごみも分別することが必要なのではないかと考えています。もし、食べられるものと食べられないものと分別でき、食べられるものをジェルや粉末にする技術ができれば、3Dプリンター等で食品に再利用できる可能性もでてくると思います。



図1-23. 結論

蛍光分光という技術にはいろいろな可能性があること、農畜水産どれも食料生産において大事であることを述べました。日本の食料生産の規模を考えると、機械装置よりも、まずはセンサを開発し、それを機械に搭載していくという順序になるのではないかと思います。

いつも学生には伝えているのですが、農業、畜産や水産といった第一次産業と食品産業と健康産業は常につながっており、その最終目標は人類の健康で豊かな暮らしのための食料と環境に貢献すること（図1-23）だと言うことを申し添えて、今日のお話を締めさせていただきます。どうもありがとうございました。

## ■パネリストスピーチ

### リモートセンシングから始まったつじ農園の米作り・仲間作り

株式会社つじ農園 代表取締役 辻 武史 氏



2001年 愛知県の機械メーカーに入社  
生産技術、品質管理、  
海外販路開拓に従事  
2016年 つじ農園操業（個人農園）  
2020年 三重大学大学院  
地域イノベーション学研究科  
修士課程修了  
2020年 株式会社つじ農園設立  
代表取締役

株式会社つじ農園（以下、「つじ農園」）の辻です。今日は生産者の立場で、技術開発というよりは技術を道具としてどのように営農に活用していくかというお話をさせていただきたいと思います。あまり難しい分光分析技術についてお話ができませんので、技術をどのように使って、楽しく農業をやっているかということをお願いいただければと思います。

私は1976年生まれの45歳、元々は機械屋でして、長らく機械メーカーで、品質管理や技術管理の仕事をしていました。ある日、実家の方で農地を集積して田んぼで米作りをやろうと思いつき、つじ農園を立ち上げました。そこからいろいろな事に

取組んできましたが、ドローンの技術や、GISの技術に出会い、今日はこのようなお話をさせていただいているということです。



図2-1. 上空から見たつじ農園

つじ農園は三重県津市の1番北のところでお米と麦、それから最近少しずつスマート農業技術の研究受託などに取組んでいます。立ち上げ当初は僅か1ha程度でしたが、周囲の農家の方々からいろいろなお支援をいただき、今は栽培面積が20haぐらいになっています。いろんな人が入れ替わり立ち替わり働いてもらいながら、7名で運営しています。図2-1がつじ農園周囲の風景ですが、大規模農業というわけでもなく、中山間地の美しい棚田というような感じでもない、なんとなく中庸な感じの地域です。それもそのはずで、この地域は1,000年以上の米作りの歴史があります。学術的な観点からも認定されており（詳細は千年村プロジェクトHP）、平安時代の辞書にその頃からお米を納税していたと台帳に載っているとのこと。この景色を見ていると安心すると多くのお客の方々に言っていただけ、箱庭のような安心感のある所で農業を営んでおります。

図2-2に農地20haの内訳を示しました。つじ農園の特徴として、作ったものは全部自分で販路を決めるということで、半分ぐらいは酒蔵さんとの付き合いで、三重県の幾つかの有力な酒蔵さんと取引させていただいています。残りは自分達で消費者に直接インターネットや、その他の売り方で販売しています。消費者の皆さんの好みやご要望に応じて品種を育てているので、だんだん

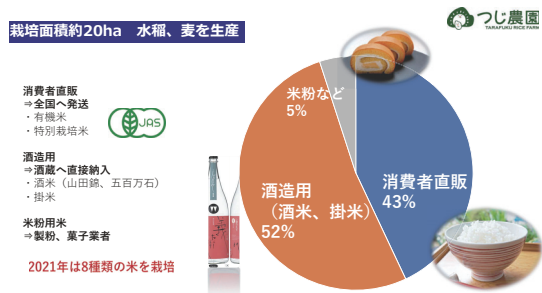


図 2-2. 作付面積20haの内訳

品種が増え、今は8種類のお米を作っており、管理がなかなか難しいところです。その中で有機米や、特別栽培米を皆さんに提供しています。発送先も全国、北海道から九州まで多くの皆さんにご愛顧いただいています。

次に技術の話ですが、いわゆるドローンのリモートセンシングです。今や一般的になりましたが、ファントム4の先にマルチスペクトラムカメラを搭載したものを使用しています。昔はカメラとドローンの通信が一体ではなく、あれとこれをwifiでつなぎ、これとそれをBluetoothでつないで、それとあれをネットワークに入れてなど、複雑な作業がありました。今では随分楽になり、インテグレートされた機械をタブレットで操作するだけでドローンを自動運転でき、取得した画像からRGBオルソ画像と解析されたNDVI画像を自動的に作成してくれるところまで進化してきました。

認できます(図2-3)。すき間があるところは機械の調子が悪かったかなとか、一部土が濡れているところがあるとか、その様な目視では気づきにくいことが分かってくるようになりました。

もう1つは、有機栽培のように、均一な栽培が難しい農法の時に、リモートセンシング技術がどのように使えるかということです。ドローン・ジャパン株式会社(以下、「DJ」)と協力して、ドローンの画像解析に3、4年トライしています。有機栽培を行なう場合は、生育の遅れなどの不具合が生じて化学肥料や農薬を使用する事は出来ないで、田んぼの地力と手持ちの有機肥料でどう対処するかというのが、有機栽培の面白いところでもあり、難しいところです。

均一に肥料散布しても、田んぼのばらつきが出てきてしまう。お米というのは1株1株よし悪しを判断して収穫できるわけではなく、田んぼ1枚1枚で管理するのが一般的ですが、もう少し細かく見るといろいろわかってきます。

リモートセンシングの取り組み

② 有機米生産圃場における施肥改善と効果

～解析した結果を生育改善のアクションにつなげる～

有機米生産においては、使用する有機質肥料に即効性がなく、施肥も機械化がされてないため、散布も均一に行うことが難しい。改善初年度は栽培中の植物の観察を行い、窒素量のバラつきと窒素欠乏面積を推定した。二年目は窒素分布マップより、施肥方法と施肥量の見直しを行った。結果、観察による推定値も安定、収量の向上につながった。



図 2-4. リモートセンシングの取り組み

リモートセンシングの取り組み

① 農作物の空撮写真の合成画像と解析  
～植物のスペクトル情報を利用して、植物の生育状態を推測する～

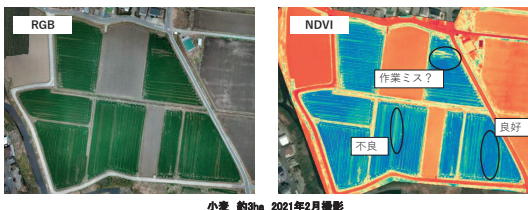


図 2-3. リモートセンシングの取り組み

1つの例ですが、麦の畑で栽培のばらつきが確

図2-4の左の写真は地力のバラつきを表しています。これをもとに次年度の栽培をどのようにするか、生育の悪い所に重点的に肥料の撒く量を増やして、生育のばらつきを無くそうと、そんな活動を行なっております。

そもそも、なぜドローンのリモートセンシングを始めたかということですが、米作りをやろうと考えていた時に、ふと、みんななぜ地面からばかり見ているのだろうと思ったからです。田んぼの畦に立って、今年は良かった悪かった、来年はど

うだろうという具合に話しているわけです。何の記録もないし、証拠もない。それならドローンを飛ばして上から見てみようと思ったわけです。2015年だったと思います。ちょうどいくつかのメーカーがドローンを農業に使ったら面白いのでは、というような提案を始めた頃です。自分が農業をやるなら、ドローンを使って管理するようなことをやりたいと思いました。観察ができれば、良いPDCAサイクルが回せるかもしれない。品質向上もできるのではないかと考えたのです。

とはいえ、それほどお金もないので、当時ドローン自体は20万円くらいで買ったのですが、そこに搭載するマルチスペクトルカメラが大体150万円から200万円ぐらいしたので、いきなり大金を投じるほど余裕もなく、思案に暮れていました。

### 遊びから始まった

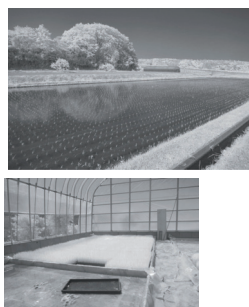


図2-5. デジカメを改造した近赤外画像

しかしながら、Web検索すると色々見つかるわけで、1万円のデジタルカメラを分解して、アマゾンで1,000円のフィルターを買って、カメラの中にフィルターを入れて撮影すると近赤外の画像が撮れるということで、まずこれをやろうと(図2-5)。暇な時に夜な夜な、近赤外カメラを自作しては、写真を撮って遊んでいたのですが、この写真1枚では何もできない。次にデジカメのファームウェアを書き換えて、ファントム2に搭載すれば、なんとなくドローンセンシングができるのではないかと考えていました。

そんな時、どこからか聞きつけたのでしょうか、日本農業新聞が取材に来て、1面に掲載されてしまいました。スマート農業という言葉すらなかつ

たころだと思えます、いつのまにか私自身もスマート農業に取り組んでいますと言っていますが、当時はこんなことをやっていると言えぬと新聞に取上げられる、注目されるのだなと感じました。

そこで調子に乗って、そこら中でドローンを飛ばして、飛ばした結果を色々なところでお話していたら、色々な方からご紹介をいただきました。三重大学の飯島先生がドローンで農地を撮影したい、それなら一緒にやろうということでドローンが手に入ったわけです。次にDJと一緒にしてもらえる農家を探しているということで一緒にやりましょうとなりました。そこで解析の方法を教えてもらったり、無料のソフトウェアに、自分たちの取ったデータをアップして色々解析を始めたりました。またその様子を方々で話をする、色々な会合に出る、そこでまたSoilCaresの佐藤さんと会うことになりました。佐藤さんは土壌とGISの専門家、女性起業家で、彼女も起業するところでしたので、一緒にやりましょうということに。これで機材と解析技術とそれを紐付けるGISの技術が手に入ってしまったということです。このような方たちとの出会いが2017年、18年ぐらい、今でも一緒に仕事をしている仲間になっています。それぞれが事業を拡張し、深堀しています。

### つじ農園の周辺にいる多様な人材

水田が多様な人材交流のハブになっている

- ・生産者
- ・作物技術者
- ・土壌、気象、工学研究社
- ・地理情報技術者
- ・映像、舞台製作
- ・現代アート作家
- ・音楽家
- ・料理人
- ・IT技術者
- ・ベンチャー



図2-6. つじ農園の周辺にいる多様な人材

では、米作りを通じてどういうことをしたかったかということ、新聞社のコラムでうまく表現してくれていました。水田をいろんな人の知恵を結集する場にしたいと思っていました。農業は閉

鎖的なイメージがありますが、実際に溶け込めば親しくなれるのに、農業が正しく理解されていないのではと考えました。色々な分野の人、ほかの産業から農業参入したいという方がたくさん来て、多くの相談を受けました(図2-6)。1番多かったのは、農業をやってみたいけど誰に相談していいかわからないということでした。県やJAの事務所に行っても、なかなか農村までたどり着かないということで、これはひょっとしたら人が集まるきっかけになるかもと思い、人が集まれる活動を行っております。多くの人が集まれる田舎、生産者はもちろんのこと、研究者、技術者、更にはアーティストや舞台制作の人、料理人などが集まってきて、交流のハブになっていきました。フードチェーンの中の人もあります。



図2-7. つじ農園のお米が食べ放題のお祭り「無限めし」

さらに、もっとたくさん人が集まり、つながれるような場所にするにはどうしたらいいか、それならお祭りを作ろうということで、ただひたすら、本当にお米を食べるだけというシンプルな祭りを2018年から各地で開催しています(図2-7)。今はコロナで感染状況に配慮しながら開催していますが。

こういう中で集まった人たちがまた合流して新しい仕事を作っていくことを繰り返しているのですが、その中で今幻の日本酒と言われる而今の山田錦を有機栽培で作ってくれと言われてたり、シンガポールの寿司屋さんが直接農場まで来てお米の注文をいただいたりと、新しいつながりも出てきています。



図2-8. 水田除草ドローンの実証

そんな中、本日の話に関係しますが、DJさんが地理情報と機械の先生を連れて来て、田んぼの除草ドローンを紹介されました(図2-8)。今はラジコンで動かしているのですが、田んぼの苗の間に生えている雑草を地中に埋める、あるいは浮力で水の上に浮かせて除去するという装置です。一度走った軌跡を記憶して、2回目から自動運転するというものです。みどり戦略でも話題になっている有機栽培ですが、農薬の問題など、色々出てくる中でこの機械が解決の1つの提案になればと思っています。

「令和3年度のスマート農業実証プロジェクト」に仲間と一緒に応募して採択されました。我々のような小さな経営体が採択されると思っておりませんでした。どういう取り組みかというとドローンは非常に高効率で労働者の負担も少なくて効果もあるわけですが、いかんせん機械が高い。そこをシェアリングすることでコストを下げようという取り組みです。津市の我々と同じような規模の4生産者と一緒にドローンを使う、特徴的なのはオペレーターが農家ではなく、集落の外部の人という点です。知り合いで時間の融通のつく方、フリーランス、主婦といった方にオペレーターをお願いしています。このように自分たちで完結させないような仕掛けをどのように作っていくかというところに重きを置いています。

やはりドローンを使うのは楽しいわけです。自分たちで観察したものに対して、資材散布を行って生育改善していく。Web GISの技術も取り込んで、より効率的に機械の配置とスケジュール、

作業成果の管理ができるようにというのが今の取り組みです。

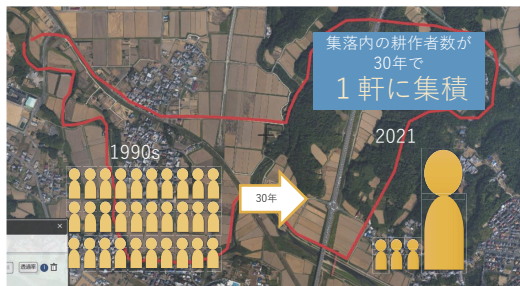


図2-9. 集落の状況

図2-9は私の集落の状況です。1990年代には30軒の農家がありましたが、現在営農しているのは4軒しかなくて、殆どの農地は私が引き受けている状況です。

これほど様変わりしていて、つまりは自分たちで耕していたのに今はできない、26軒分の知見が失われてしまっているわけです。このまま放置すれば、近隣の集落でも同じことが起きているので、10年後には誰もいなくなってしまうのではないかと思います。事業なので拡大し収益を上げていかなければならないですが、土地の集積が進めば誰も居なくなってしまうのではないのでしょうか。それが私の危機感で、つまり集落を孤立させてしまうのではなく接続可能な状態で維持すべきだと思っています。



図2-10. 最後に

農村というのは、場所という意味では、とても広い空間がある。広い空間で本当に面白いことができるのか、生産性も高めつつ、農業に寄与しな

がら、その仕事は本当に面白いかということをお頭に置いて、誰と一緒に仕事をするかということが重要だと思っています(図2-10)。それがたまたま私にとってドローンの活用や、効率的な生産システムの構築だと思っています。以上となります、どうもありがとうございました。

## 生産と流通をつなぐAIを搭載した最新鋭の選果設備

シブヤ精機株式会社製品企画本部 副本部長

兼 開発部 部長 二宮 和則 氏



1997年 山形大学大学院工学研究科  
博士前期課程修了  
2001年 山形大学大学院理工学研究科  
博士後期課程修了(工学博士)  
2000年 石井工業株式会社入社  
2004年 エスアイ精工株式会社  
(社名変更)  
2011年 シブヤ精機株式会社  
(社名変更)  
2016年 現職

シブヤ精機株式会社(以下、「シブヤ精機」)の二宮です。本日は、当社の取り組みについて紹介いたします。はじめにシブヤ精機の紹介です。当社は金沢にある澁谷工業株式会社のグループ会社で、浜松と松山に本社があります。澁谷工業はお酒やペットボトルなどのボトリングシステムで国内トップシェアを持つ会社ですが、シブヤ精機はグループの中で選果機を中心とする農業設備や、ファクトリーオートメーション機械を担っています。

浜松と松山にある本社と工場のほか、全国にサービス拠点があり、近藤先生からもご紹介いただいた通り、選果機本体から、搬送ライン、各種センサ、選果情報システムまでを一貫して設計・製作できる総合メーカーとして、主には全国の農協に導入いただいております。

スマート農業、フードロスなど、昨今の農業を取り巻くキーワードはたくさんあります。その中で、日本の食料生産に対する担い手不足や生産者の高齢化、30年後には97億人にもなると言われる世界人口のための食料問題、そして品質、みんな

【背景】日本の農業・食料生産は持続可能か？

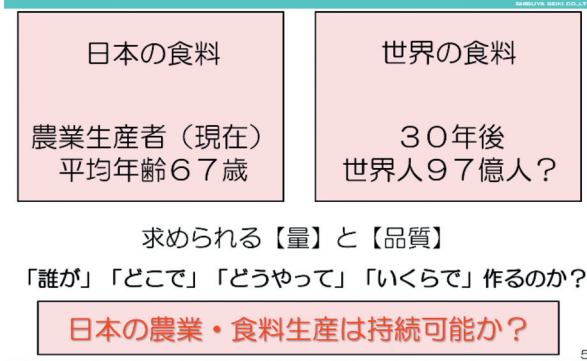


図3-1. 日本の農業・食料生産は持続可能か

いいもの食いたい、その需要に対して誰がどこで、どのようにして供給するのかなど深刻な課題がたくさんあります（図3-1）。高額で売れる品質の良い物を少量作ればいいというわけではなく、皆さん、それなりの値段で買いたいわけです。このような中で、日本の農業や世界の食糧生産が本当に持続可能か、真剣に考えるべきタイミングではないでしょうか。その様な中で、農業生産地の深刻な悩みをよく耳にします。高齢化もそうですが、生産量も減っている。後継者が減少する中でも、何とか現在の生産量を維持したいと皆さんおっしゃいます。

これらの課題を解決するための技術導入、イノベーションが必要であると強く感じています。

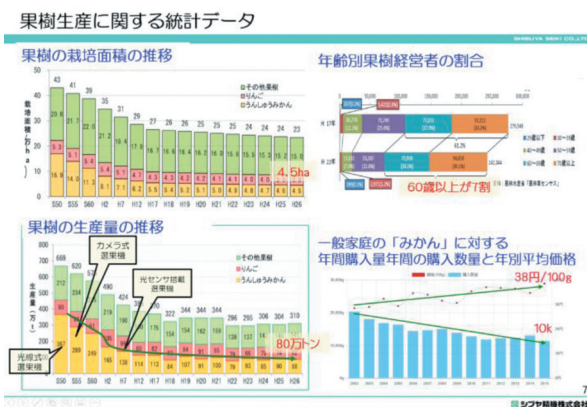


図3-2. 果樹生産に関する統計データ

図3-2は、果樹生産に関する統計データの一部です。例えば、ミカンの生産量は、ここ数十年で大きく減少してきました。リンゴは比較的安定

しています。また、一般家庭の購入量や単価の推移を見ると、ミカンの単価は上がり、最近では高級品になってきました。うまく作れば「売れる」という時代になってきたと思います。一方で、果樹の消費量は大きく減少傾向にあると思います。皆さんに言いたいのは、果物をもっと食べましょうということです。日本の果物は世界的にみても、とても美味しいのに消費が減っているというのは、寂しい問題だと思います。

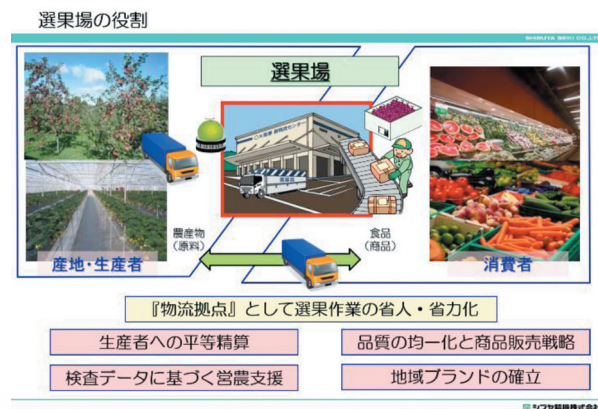


図3-3. 選果場の役割

ここから、選果機の紹介をさせていただきます（図3-3）。「選果」とは何か、ご存じの方も多いと思いますが、一つは階級分けをすることです。果物や野菜の大きさに基準が決められていて、S/M/Lといった具合に分けられます。もう一つは、等級分けです。これは、青果物の品質・グレードとして、「見た目」や「味」で選別され、出荷されています。青果物の産地にある選果場で選果され、包装・箱詰めされて、市場に出荷されます。選果を行う基本技術としては、画像処理を使って見た目の良し悪しを判別、近赤外分光で個々の味を測定して選別するというような技術が広く普及しています。いろいろな果物や野菜を対象とした選果機があり、ロボットを使って大葉を選別する機械まであります。また選別された青果物を箱詰めするロボットなど、省人・省力化に寄与する自動機械が稼働しています。

先にも述べましたが、選果場は、産地で生産者が作った農産物を、市場や消費者に向けて出荷し



流通させる物流拠点としての役割を担っています。農産物を流通させるためには、箱に入れて輸送が必要で、原料となる農産物を規格ごとに綺麗に箱詰めして商品を作ることが大切な機能となっています。

また、これらの選果場では、古くからコンピュータを活用した、さまざまなシステムが稼働しており、カメラによる画像処理技術や近赤外分光技術などを駆使して、青果物の大きさや品質の検査をしています。さらに、それら計測情報に基づき、生産者に対する営農指導をするという、まさにスマート農業的な取り組みが、30年以上も前から行われてきました。選果場には大量のデータがあり、農産物のデータ集積と営農指導の拠点としても利用されています。

さらに、各生産者が選果場に持ち込んだ青果物に対する支払い金を計算するという給料査定システムのような役割も持っています。量と質の観点から評価され、市場で販売された売上金を各生産者に対して割り振ります。

消費側に対して考えると、良いものは高級デパートへ、品質に応じて地方の量販店へ、品質が劣るものは加工用というように、選別された商品と、そのニーズに合わせた販売戦略を司るのも選果場の役割の一つです。

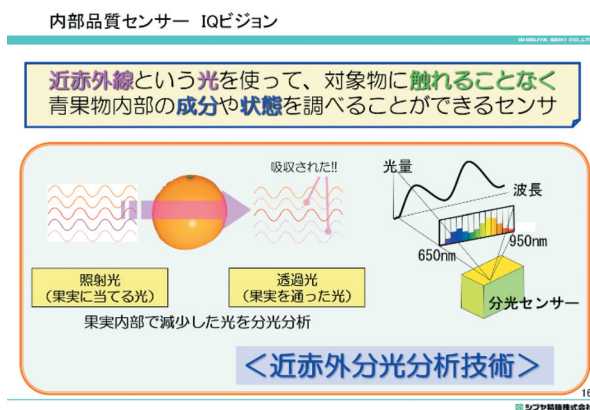


図3-4. 内部品質センサ

ここから、選果機で使われる、センシング技術について、はじめに、内部品質センサを紹介しましょう(図3-4)。ミカンなどの青果物に近赤外線

の光を当てて、漏れ出てくる光を分光すると、スペクトルという波形データが取得できます。事前に多くの果実に対する波形データと、その果実を破壊して実測された糖度のデータを集めて突き合わせ、統計解析することで、検量線と呼ばれる計算式を求めます。実際に選果する時は、果実を透過して得られた波形データを、この検量線式にあてはめることで、過去の経験に基づいた、糖度が非破壊で瞬時に予測できるという仕組みです。このような計測技術が、30年も前から普及しており、千台を超える内部品質センサが導入され、日本国内の選果場で稼働しています。

ミカンだけでなく、スイカのような大きな果実でも1個1個全ての糖度を測定して選別しています。リンゴやナシ、タマネギやジャガイモなどは、内部の腐敗や障害の有無を判別できます。最近では、βリプトキサンチンなど、身体に良いとされる機能性成分の計測にも活用されています。

次に外観センサですが、カメラによって撮影された画像をもとに、見た目のよしあしを選別するための技術を紹介します。

対象品目にもよりますが、最大で6台のカメラを使用して果実の全周画像を撮影し、画像処理をすることで、大きさや色、形状、傷の有無や程度など計測、1個1個の外観のよしあしを評価して選別を行います。



図3-5. AIビジョンの特徴

図3-5のリンゴの写真に注目して下さい。人間が見ればすぐ気づく小さな傷がありますが、通

常の画像処理でこの傷を自動で検出することは大変難しいことです。そこで、近赤外の光を当て画像を撮影すると、傷だけが明瞭に見えることが分かります。この様に、対象とする青果物や計測項目に応じて、どのような光を使うか、カメラや照明の技術を使い分けながら、特徴を捉えて外観の評価をしています。

先ほどの近藤先生のお話にもありましたが、紫外の蛍光反応を使うことで、腐ったミカンを見分けて選別するという技術も、10年前から実用化され、多くの柑橘産地に導入されています。

当社の外観センサでは、白い照明、紫外の照明、近赤外の照明を、同時に撮影する仕組みが標準搭載されており、6台のカメラで3ショット、つまり1つの果実に対して18枚もの画像を撮影します。この様に撮影された画像に対して、ルールベースの画像処理手法を用いて、大きさや色、形状を、事前に作成された計算式に基づいて連続的な数値として出力します。これらの計測値を、等階級の区分条件と照らし合わせて選別が行われます。

しかし2つと同じものの無い青果物の品質評価は複雑で、まだまだ人の目視選別には及びません。

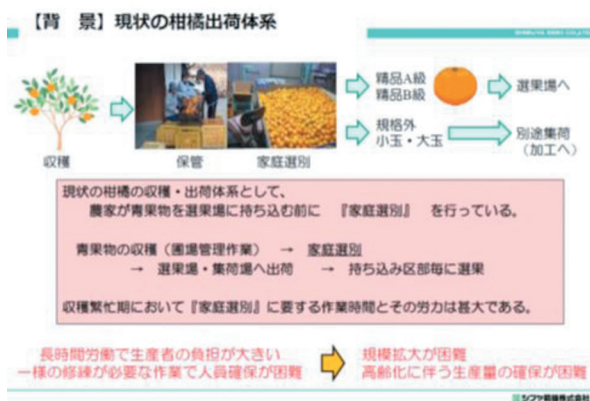


図3-6. 現状のかんきつの出荷体系

図3-6に示した通り、商品の品質を確保するために、生産者は収穫した果実を一度家庭に持ち帰って家庭選別を行なっています。

家庭選別で製品になるA級品やB級品と、規格外品を大雑把に分けてから、製品になるものだけを選果場に持ち込み、製品にならないものは持っ

てこないでくれというのが一般的な選果場の運用ルールになっています。

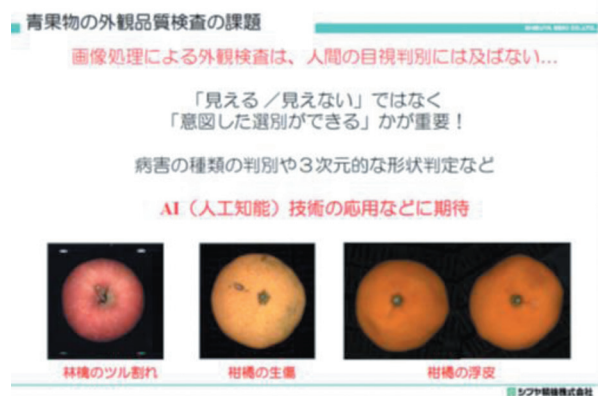


図3-7. 青果物の外観品質検査の課題

選果機があるのになぜ家庭選別が必要なのかというと、腐りにつながる痛みのあるミカンや病気のミカンなど、カメラでは見つけきれないものがどうしても出てしまうからです（図3-7）。さらに製品にならないものを選果場に持ち込むと、選果量が3割程度増加してしまい、工場としての生産性がかなり落ちてします。

生産者が収穫で一番忙しい時に、日中には収穫された果実を、夜なべをしながら家庭選別をして、次の日に出荷するという、これら一連の作業はとても大変なことです。生産規模を拡大することもできず、担い手の高齢化が進む中で、重労働に耐えられず、多くの農家が辞めていくという実情がありました。

人間の目視選別では、例えば、りんごのツルワレや、ミカンの刺し傷や浮皮など、病気や虫の被害、傷害の種類や症状を容易に見分けることが可能です。熟練の農家や作業者であれば、この傷は将来腐りそうといった極めて高度な選果ができるんです。一方、従来のルールベースによる画像処理では、どの傷も同様に、傷として検出はできても、傷の種類を特定して、意図する選別が難しかったわけです。

この課題に対して、人工知能（以下、「AI」）技術を使うことで、傷や病気の種類を、自動で識別して、意図する高度な選別が可能になってきました。

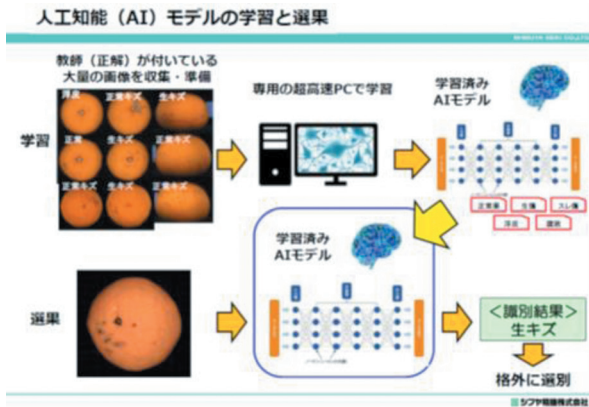


図3-8. AIモデルの学習と選果

AIを使った画像認識では、病気や傷害の種類別に、大量の画像を集めて、教科書となる写真集を作ります。次に、これらの写真集を、専用コンピュータで学習させることで、頭脳となるAIモデルを作ります。実際に、選果する時は、撮影された画像データを、学習済みのAIモデルに入力すると、瞬時に、病気や傷害の種類が認識されます（図3-8）。



図3-9. JAみっかびの選果機

数年間の開発・検証を進めてきたAIを使った革新的な選果設備が、まさに稼働を始めています。静岡県のJAみっかびは、全国で初めてAIを使った大規模の柑橘選果設備を導入しました。JAみっかびのホームページで、設備の概要や動画が紹介されているので、ぜひご参照ください（図3-9）。

この選果場では、AIを使いながら一日500トンのミカンを選果しています。500トンというと500万個のミカンが一日に流れているということです。

省人・省力化のためのさまざまな自動機械やロボットが稼働しており、選果されたミカンが、4キロ箱とか8キロ箱に自動で箱詰めされて出荷されていきます。

選果処理能力も、従来と比較して60%以上UPしています。動画を見ていただくと分かりますが、すごい量のミカンが流れていきます。これら1個1個について、糖度や酸度を内部品質センサで、大きさと色、形状、傷などを外観センサで測定、さらにはAIによって、生傷や病傷害、浮皮などを認識しながら選別をしています。

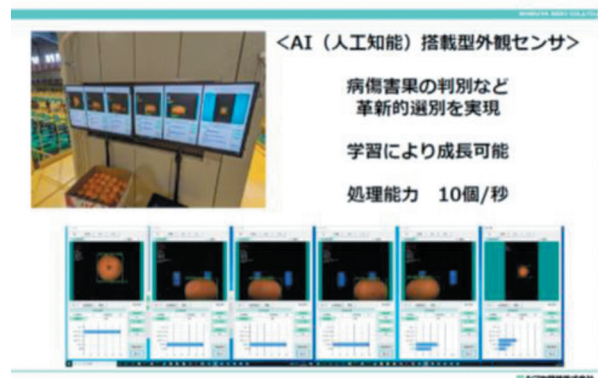


図3-10. AI搭載外観センサ

先にも説明したように、1個の果実に対して、何ショットもの画像が撮影されますが、これら画像に対して、AIによる認識が実行されます。さまざまな計測項目に対応したAIモデル（頭脳）を使って、1秒間に10個以上の高速な処理が可能となっています（図3-10）。



図3-11. AIにより格別に排果された害虫被害果

多様な青果物の病気や傷害は、年や産地によって全く異なることもあります。今年は何とか病が出たという、その特徴を新たに学習することで、これまで識別できなかった項目に対応できるようになる、導入後も、どんどん成長する夢の様なセンシングが可能になりました。

図3-11は、実際の選果で、AIが格外として排出したミカンの事例です。一見どこが悪いのか分からない程度の、緑で小さな傷ですが、皮をむくと虫が吸った跡が確認できます。この様に、今まで不可能とされてきた、高度な選別がAIにより大きく前進し、現場で稼働しているということです。



図3-13. AIで排出された病害

馬鈴薯の場合、土の付着が画像処理に大きく影響を及ぼしてきました。土質や土の付着状態は、産地や生産者、畑ごとに大きく異なりますが、土と、傷、さらには病気までを見分けて、自動選別することが本当に難しい課題でした。ここでは、数百万枚もの画像を収集して学習と試験を繰り返しながら、土が付いた状態でも、病気やワレなども認識できる仕組みを構築しています。図3-13はAIが格外として排出した、象皮という病気の馬鈴薯の事例です。ぱっと見では、人間でも良く分からないような傷害をAIが自動で選別できている現実を見て、我々技術者でも、このAI技術のすごさに驚いています。

青果物や食品の生産現場では、その多様性へ対応することが難しく、まだまだ自動化・省人化が進んでいません。これらの課題を解決するために、本日説明をした、視覚や味覚に替わる内外センサ、さらには、音を聞き分ける聴覚技術や、触ったものの硬さに応じて優しくハンドリングする触覚技術も開発されています。今回、そこにAIを載せることで、より人間に近い検査や選別、自動化が可能となりました。

最後に、スマート農業というと、つい畑や水田など、農業生産の現場・フィールド側ばかりに目が行きがちですが、実は選果場には、これまで述べてきたような農産物の品質に関する貴重なデータ・情報が大量に蓄積されています。ある生産者が、どの畑で、こういう栽培をしたら、こういう品質の農産物が、どれだけ収穫できたのか、その



図3-12. 馬鈴薯の収穫・選別の現状と将来像

次に、馬鈴薯の事例を紹介します。北海道では、馬鈴薯を収穫する際に、収穫機の上に数名の作業員が立って、収穫しながら土塊や石・規格外品を取り除く作業を行っています。さらに、選果場でも、多くの作業員が目視で選別を行っているのが実情です（図3-12）。

人手不足が加速度的に進んでいる地方都市では、これらの作業員を集めることが難しくなっており、産地の維持すら危ぶまれる事態になっています。そこで、収穫機上の選別や、選果場での選別の省人化を目指した挑戦が進められています（内閣府が主導するSIP事業の一部として）。

数年間の研究開発で、土塊や石、傷やキレツ、奇形などを、AIを搭載した選果機で選別することが、実用化レベルになってきました。

農産物がどこで・いくらで売れたのかといった貴重なデータが、選果をしながら自動的に収集・蓄積されていくわけです。

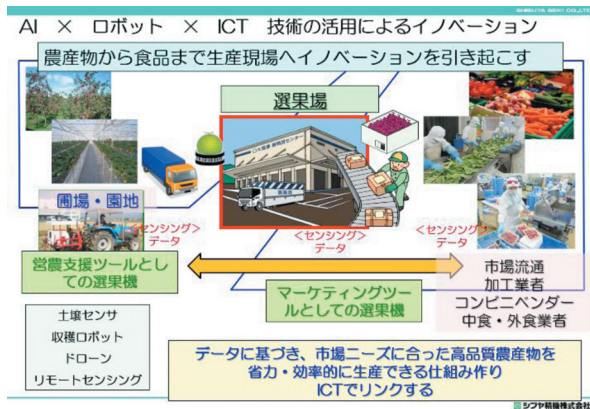


図3-14. 選果場を中心としたデータ連携のイメージ

生産から流通・消費まで、農産物と一緒に、一連の情報をつなぐことができるのも選果場の役割の1つだと言えます（図3-14）。いくら品質の良い物を作っても、それを売るのはとても難しいことです。消費者や流通が求める品質や量と価格、さらに、安定性供給も担保する必要もあります。この様な観点から、栽培現場だけをクローズアップするのではなく、産地となる上流から消費者である下流まで、逆に、消費者から産地と相互方向で情報が行きかうようなデータ連携が重要だと思います。スマート農業の仕組みが、今後さらに加速化される中で、この様なデータ連携を駆使して、さらなる効率化や省力化が実現されていくものと考えます。

現在、農業は非常に大きな転換期を迎えていると思います。我々もそういったところに何かご協力できればと思っております。

## 信州プレミアム牛肉による長野県産牛肉のブランディング戦略

長野県畜産試験場 場長 神田 章 氏



1987年 酪農学園大学修士課程終了  
獣医学修士  
長野県庁勤務

2019年 長野県松本家畜保健衛生所長  
2020年 長野県畜産試験場長

専門：家畜衛生学（感染症、防疫）、  
畜産物マーケティング

長野県畜産試験場の神田です。本日は長野県で構築した、信州プレミアム牛肉認定制度についてご紹介いたします。

本日のテーマはスマート畜産、スマート農業ということですが、これから紹介する話題はスマートというよりむしろマーケティングに近いのですが、信州プレミアム牛肉による長野県産牛肉のブランディング戦略の取り組みについて、紹介したいと思います。

はじめに信州プレミアム牛肉の概要です（図4-1）。この牛肉は長野県で企画した牛肉で、「安全・安心でおいしい」をコンセプトにしていますが、「おいしい」については、牛肉中のオレイン酸含有率を加味した、長野県独自のおいしさ基準で認定する仕組みとなっています。

図4-1. 信州プレミアム牛肉とは

次に信州プレミアム牛肉認定制度の肝であるオ

レイン酸について説明します(図4-2)。オレイン酸は脂肪酸の一種で、炭素数が18、二重結合が1個の分子構造を持ち、牛肉のおいしさ、これは風味ですが、口溶けをよくするものです。また、オレイン酸は人の健康では悪玉コレステロールを減少させる効果があるとされています。

### オレイン酸 (C18:1) とは

- ・脂肪酸の一種
- ・炭素18個で炭素間の二重結合(不飽和)が1個(モノ不飽和脂肪酸)
- ・牛肉のおいしさ(風味・口溶けなど)に影響
- ・牛肉中のオレイン酸含有率は、品種や部位によって異なる

(2008年Kanda.et.al)

- ・人の健康では、悪玉コレステロールを減少させる効果があるとされている。


図4-2. オレイン酸とは

認定制度の背景ですが、長野県産牛肉の知名度は極めて低く、県内の観光地で県産牛肉の提供が少ないこと、さらに県内に牛肉ブランドが複数あるものの、長野県産牛肉のイメージ力やブランド力が極めて低いということがありました。このことから従来の牛肉の規格、いわゆる格付評価に「食味」を加えた、新たな基準でおいしい牛肉を認定し、その名称については、複数存在する牛肉のブランドを緩やかに統一するものとなりました。

### 牛肉の規格(日本食肉格付協会)


**歩留等級**

枝肉から骨や脂を除く  
可食部割合の推定  
A・B・C等級



**肉質等級**

脂肪交雑(霜降り度12段階)  
や肉の色、脂肪の質など  
1・2・3・4・5等級



第5・7肋骨間の切開面

組み合わせ

図4-3. 牛肉の規格

図4-3に一般的な牛肉の規格、格付制度について示しました。牛肉の可食部分、つまり、枝肉から骨や脂などを除いた可食部の割合を示す歩留等級A、B、Cと、脂肪交雑、いわゆる霜降りの度合いをサシと言いますが、この肉質等級を5から1等級として、この組み合わせによりA5からC1までの15等級で格付けしています。最も可食部が多く霜降りの度合いの良いものがA5等級ということになります。信州プレミアム牛肉はこの格付けに新たにおいしさを加えたものです。信州プレミアム牛肉は、通常の牛肉格付けに安全・安心とおいしさを加えた全国初の認定牛肉となっています。

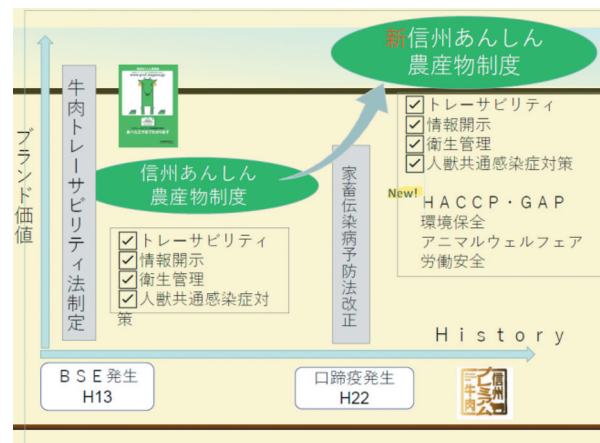


図4-4. 信州あんしん農産物制度

まず安全・安心を担保する信州あんしん農産物制度の生産農場認定について説明します(図4-4)。この制度は2004年度にスタートした、BSE、あるいは牛海綿状脳症とよばれる、いわゆる狂牛病の国内発生を受け構築した長野県独自のトレーサビリティシステムです。この制度は認定農場での飼料成分の公表、農場生産履歴の記帳の義務づけ、県の家畜保健衛生所による定期的な衛生検査、および記帳の確認を行っております。この制度は、平成22年に宮崎県で発生した口蹄疫によって関連法令が整備強化されたことを受け、このシステム自体に目新しさが希薄になったことから平成31年度にリニューアルしました。この改定ではHACCP、GAP、環境保全、アニマルウェルフェア、労働

安全といった項目を追加しています。信州あんしん農産物認定農場は現在141農場ありますが、取り組みの程度によってStandard、Special、Supremeの3つのカテゴリーを設けています。以上が、信州プレミアム牛肉の安全安心を支える、信州あんしん農産物制度の概要です。

次に信州プレミアム牛肉のおいしさについて説明します。長野県における牛肉のおいしさへの取り組みは平成16年度に牛肉、豚肉、鶏肉の食味成分に関する基礎調査を開始し、平成20年度には信州のおいしい牛肉認定事業を立ち上げ、食味の高い、すなわちオレイン酸含有率の高い牛肉を認定する制度を構築しました。

**平成20年の頃  
牛肉の食味成分としてオレイン酸の認識**

- ✓牛肉の香りに影響を及ぼす成分として、国内で注目されてきた。
- ✓第9回全国和牛能力共進会でオレイン酸含有率を加味した「脂肪の質賞」が新設された。
- ✓近赤外線分光分析装置によりオレイン酸の測定が簡易にできるようになった。
- ✓しかし、オレイン酸と牛肉(和牛)の食味性に関する調査・報告は乏しい。

**Dryden and Marchello (1970) Westerling and Hedrick (米国 1979年)  
胸最長筋の加熱フレーバーとオレイン酸割合の間に  
有意に正の相関がある。**

図4-5. 牛肉の食味成分としてオレイン酸の認識

今ではすっかりオレイン酸イコール牛肉のおいしさといった概念が定着していますが、2008年度頃は、牛肉の香りになんとなく影響を及ぼす成分として国内で注目され始めた頃です。ちょうど、和牛のオリンピックとして5年に1度開催される全国和牛能力共進会の第9回(2007年)で、オレイン酸含有率を加味した「脂肪の質賞」が新設された頃です。

また、この頃、従来ガスクロマトグラフィーの様な大掛かりな機器と熟練した技術によって測定していたオレイン酸含有率を、近赤外線分光分析装置により簡易に測定できるようになりました。ここが本日のテーマの一番のポイントになっているところですよ。


一方で、オレイン酸の牛肉の食味性に関する調査報告が乏しく、オレイン酸による牛肉認定制度を計画した当時は、オレイン酸と牛肉の食味性への関連についての報告は、1970年代の米国における論文、「胸最長筋の加熱フレーバーとオレイン酸割合の間に正の相関がある」という報告のみでした。胸最長筋とはいわゆるロースのことです。この論文を頼りに、私たちはなんとか制度を立ち上げようと思いました。

我々は、オレイン酸が本当に牛肉のおいしさの成分になりえるかについて、実証する必要がありましたが、それまで牛肉のおいしさ成分について一緒に研究、検討していた全国団体や研究機関が、ほとんど研究から早々離脱してしまい、我々は孤立してしまいました。

そこで、日本獣医生命科学大学の松石昌典教授にオファーし、なんとか一緒に牛肉認定制度を共同開発することができました。

**近赤外線分光分析装置によるオレイン酸の迅速測定**

食肉脂質測定装置 (株相馬光学)



S7000 S7040

図4-6. 近赤外線分光分析装置によるオレイン酸の迅速測定

図4-6は、独立行政法人家畜改良センターの理事長、入江正和氏が開発した近赤外線分光分析装置です。2008年の当時はこちらのS7000を使用していましたが、今は新しい機種の新S7040を用いています。この装置は、牛肉中のオレイン酸含有率を数秒で測定することができます。この機械を用いることによって信州プレミアム牛肉を1頭ずつ迅速に測定でき、認定が行われることとなりました。

次に、信州のおいしい牛肉認定事業、オレイン酸の食味性調査、および認定基準の策定について説明します。この事業の目的、コンセプトは長野県独自の牛肉のトレーサビリティシステムに、長野県独自のおいしさ基準を合体させた、今まで国内にない新しい認定制度を創設することです。プロジェクトを進めるにあたり最も重要視、苦労したのが、前述の通り、オレイン酸が牛肉の食味に関連することを証明することでした。

そこで、オレイン酸含有率が異なる牛肉と牛脂を用いて食味官能検査を行ないました。食味検査を行うパネル、つまり試験者のことですが、畜産関係者、調理師などの一般パネルと、食味検査に関する専門の訓練を受けた検査機関の専門パネルとによるオレイン酸含有率と食味の関連性を検討しました。



図4-7. 牛肉の切断面

食味検査に用いた牛肉の部位は胸最長筋ロースで、ちょうど図4-7に赤い丸で囲んだところですが、そことその周囲の脂肪並びに、写真右上にある筋間脂肪を用いました。結果ですが、一般パネル、調理師畜産関係者による官能検査では、オレイン酸含有率が高い牛肉は脂肪の口溶けがよく、香りが高いという評価を得ました。一方専門パネルによる官能検査では、肉の部分を除いた脂肪組織そのものの評価を行ないました。これは筋間脂肪におけるオレイン酸との関連です。オレイン酸含有率の高い方が香りと総合評価が高い傾向にあ

りました。また、胸最長筋ロース周囲の脂肪の官能検査では、同様に脂肪交雑やオレイン酸含有率の高い方が総合評価、和牛香、脂肪の滑らかさが高く評価される傾向にありました。これらの結果から、私たちは新しく策定する牛肉のおいしさ基準の項目をオレイン酸含有率と脂肪交雑とすることにしました。

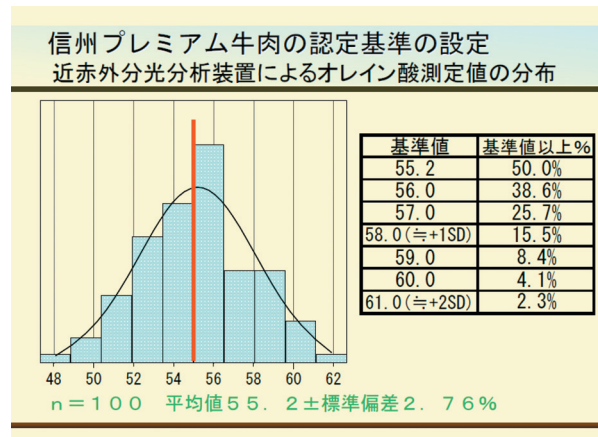


図4-8. 信州プレミアム牛肉の認定基準の設定

図4-8には、オレイン酸含有率の分布を示しました。オレイン酸含有率55%が平均値でした。この結果から、認定基準のベースをオレイン酸含有率55%とすることとしました。現在、オレイン酸含有率を指標にした牛肉認定制度は大分県、鳥取県、石川県でも、後発で行っていますが、各県の基準がすべて55%になっているのは、このデータがベースになっているからです。

いよいよ、信州プレミアム牛肉の認定基準の策定となりました。認定条件は脂肪交雑およびオレイン酸の測定値が一定の条件を満たす枝肉であることのほか、信州あんしん農産物生産農場で最も長く飼養され出荷された牛であること、黒毛和種の去勢または未経産雌牛であること、内臓肉やひき肉、切り落としの部位を除くといった4項目にしました。

信州プレミアム牛肉の認定基準のうち、脂肪交雑とオレイン酸含有率による認定基準について図4-9に示しました。このマトリックスにある通り、脂肪交雑およびオレイン酸含有率の2つの項



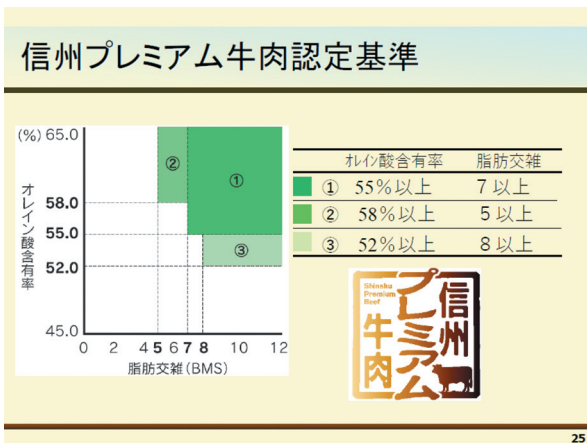


図4-9. 信州プレミアム牛肉認定基準

目の組み合わせで、①～③の3つの基準に該当するものとなりました。

この制度の特徴ですが、この独自の認定基準をもとに牛を1頭ずつ測定し認定します。また、肉質以外の基準については長野県家畜保健衛生所が衛生検査、生産履歴情報の記帳を確認している信州あんしん農産物生産農場からの出荷に限定し、さらに登録業者による流通としています。

このように、信州プレミアム牛肉は、2009年度から正式に認定流通を開始、いわゆるデビューしました。流通業者や生産者の強い要望により、2012年度からは県外市場でも認定制度の運用を始め、現在では大阪市場、京都市場、姫路市場、名古屋市場でも認定を行っています。現在、信州プレミアム牛肉は年間約3,800頭が認定されています。

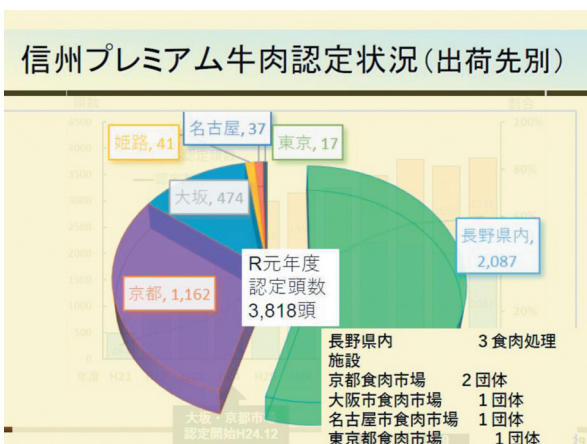


図4-10. 信州プレミアム牛肉認定状況

図4-10は令和元年の認定頭数3,818頭の出荷先別のグラフです。約45%が県外市場で認定されていて、そのうち京都市場は県外市場の約7割のシェアを占めています。

牛肉の品評会を共進会と言います。2019年度から、市場および京都市内の牛肉業者の強い要請を受け、京都市食肉市場で長野県主催による「信州プレミアム牛肉、オール信州共進会in京都」を開催しています。第1回目の共進会では当時の長野県副知事、京都の牛肉業者の大西銀閣の社長様からご参加いただきました

牛肉の目利きが多い京都で、信州プレミアム牛肉の評価は高く、京都市場に上場されている同規格の牛肉と比較するとキロ当たり約200円程度、枝肉500キロ換算で約10万円高く評価されています。安全安心でおいしい信州プレミアム牛肉が評価され、さらにブランド価値が高まっていることを大変感謝しています。



図4-11. 近赤外線分光装置でオレイン酸を測定している様子

図4-11は枝肉を1頭ずつ、近赤外線分光装置を使ってオレイン酸含有率を測定している様子です。

さて、最後に少しお時間をお借りして別の話題を紹介します。2020年9月に長野県畜産試験場で豚熱、いわゆる豚コレラが発生し、試験場内で飼育しておりました全ての豚、351頭が処分されました。養豚事業研究の再開に向け、昨年度3つのコンセプトによる施設整備を行ない、本年度は肉

質に特化した子孫導入を行っています。試験研究のメインは輸入豚肉に対抗すべく、信州のおいしい豚肉の作出に取り組んでいます。信州のおいしい豚肉の開発は、信州プレミアム牛肉と同様に、第2弾のブランド戦略として位置づけています。信州のおいしい豚肉は国際競争に負けない特徴的な豚肉で、牛肉と同様に脂肪交雑、オレイン酸といったおいしさと、ドリップが出にくい保水性、高品質のものにしたいと思っています。

現在近赤外線分光分析装置を用いた脂肪交雑や豚肉の脂肪交雑やオレイン酸測定方法の検討を行っているところです。

図4-13の写真は、脂肪交雑判定表を用いて、食肉処理施設で実際に判定している様子です。これではあまりアナログな手法なので、現在、タブレット等の端末で豚ロース面を撮影すると、脂肪交雑を数値化する画像認識アプリ等を開発しているところです。長野県の豚肉にも乞うご期待ください。説明は以上です。ありがとうございました。

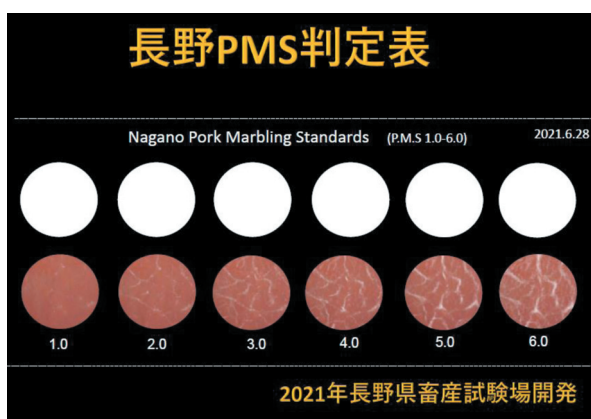


図4-12. 長野PMS判定表

図4-12は近赤装置を使わなくても、誰でも簡単に豚肉の脂肪交雑を測定できるように、試験場が開発した判定表です。牛肉と異なり、豚肉のおいしさを高めるにはまだ豚肉中に脂肪交雑を増やす必要があると考えています。



図4-13. 豚肉の脂肪交雑測定

## ■パネルディスカッション

〔モデレーター〕 生源寺 眞 一 氏 福島大学農学群 食農学類長 教授

〔パネリスト〕 近 藤 直 氏 京都大学大学院農学研究科 教授

辻 武 史 氏 株式会社つじ農園 代表取締役

二 宮 和 則 氏 シブヤ精機株式会社製品企画本部 副本部長 兼 開発部 部長

神 田 章 氏 長野県畜産試験場 場長



**生源寺** それでは、ディスカッションを始めます。まずは参加者からいただいている質問をもとに、議論を進めていきたいと思えます。

近藤先生に伺います。消費ロス削減のためにできることはどんなことでしょうか。実際に蛍光分光技術を活用して食品ロスの減少に成果を上げている事例はあるでしょうか。

**近藤** これから取り組まないといけないことですが、まず食品ロスを食べられるものと食べられない物に分けるといことがすごく大事だと思います。例えば、冷蔵庫の中で消費期限が迫っているとか、鮮度に近いものが蛍光分光技術でわかるので、食べられなくなる前に知らせてくれるシステムなど、ちょうど冷蔵庫メーカーさんとお話しているところです。

**生源寺** つぎに辻さんに伺います。まるで農家というよりイベントプロデューサーのような印象をもちますが、どうしたら沢山の仲間とつながることができるのか。なにかコツというものがあるでしょうか。

**辻** 一般論になりますが、皆様のお話を聞くということを大事にしています。秋になると、たくさんのお客様にお越しいただきます。とんでもない

数です。メールなどでも、ご質問には丁寧にお答えするようにしていますし、ちょっとした質問には電話で対応しています。まずお話をうかがい、私が持っているリソースで何が一緒にできるかということを考えるようにするというのが、コツといえばコツかもしれません。

**生源寺** 本日のお話にもありましたとおり、「つながる」ということですね。辻さんは「つながる」領域が非常に広いことが、まさにコツだと感じました。

次に二宮さんに伺います。計測するのが難しい農産物、青果物はどのようなものでしょうか、例えばスイカのような大きな果実も光で測定できるのでしょうか。

**二宮** スイカも透過した光で糖度や潤み、障害などを計測しています。また内部の空洞を打音で計測するセンサなどもあります。スイカはカットして売られることも多いので、市場のニーズは高いです。測るのが難しいというのは、光が通りづらいようなものですが、反射式という方法で計測するなど、ケースバイケースで青果物によって設備のスペックを変えています。

**生源寺** 神田さんに伺います。本日のお話はオレ

イン酸計測の話でしたが、どのように育てたらオレイン酸が多く含まれる牛肉になるのでしょうか。

**神田** 牛肉中のオレイン酸の多寡は、遺伝の影響を強く受けます。次に、与える餌でどの程度変わるかということですが、餌の中に含まれる油脂分が影響すると考えていて、いま、大豆を工夫して与える、実証試験を行なっているところです。

**生源寺** 蛍光分析法は、土壤微生物の多様性などの計測に活用できるのでしょうか。

**近藤** 農薬や肥料をいかに少なくするかということは、土が現在のどういう状況にあるかということセンシングしないといけません。今はそのセンサがない。今は土を採取して分析するしかない。以前シブヤ精機さんが取り組んでいた土壤センサなどが、ようやく始まったところだと思います。

肥料についてですが、単肥などを蛍光で測ることはできていますが、地力に関しては今計測する研究を行なっているところです。

微生物はどうかというと、直接計測している例は今のところありません。

**生源寺** 辻さんはドローンセンシングをされていますが、ドローンの画像から、有機農業の状態が分かるようになると大変良いのではと思いますが。

**辻** 私がドローンで見ているのは、イネの育ち具合であって、直接土壤のNDVIを測定されている方もおりますが、結果はまだ出ていません。

土壤微生物がどれだけいるかということですが、土壤サンプルを採って解析するのが一般的です。それは田んぼ全体ではなく、ある部分を計っているだけです。田んぼ一枚を測ろうと思うと、土壤センサのようなものをトラクターに装着して田んぼ全面をセンシングするなどが必要になるのではないのでしょうか。

**生源寺** 近藤先生に質問が来ています。分光技術によって、食品の情報、つまりよしあしが分かることによって、かえって排除されるものが増えたりしないのでしょうかという質問です。また、逆に分光技術を使うことによって賞味期限をもっと延ばせるのではないかとの質問についてはいかがでしょうか。

**近藤** 日本は賞味期限が厳しく設定されていて、

いわゆる1/3ルールというのはまだあります。製造業者から卸し、卸しから小売店への受け渡しの期限が全体の賞味期限の1/3までにという区切りのことですが、それも改善しなければならないという意見も出てきています。青果物については、味が変わるとか、酸化してしまうとか、どこかでモニタリングしなければいけない。冷蔵庫の中というのも一つの例ですね。

品質の劣るものが排除されてしまうという懸念ですが、ちゃんと評価するということが大事だと思います。わずかしこ悪くないのに捨てられてしまうものを救うことができるということ。収穫の時であれば、適期を見逃さないということも大事です。1番いい時に1番たくさん量を採るということはメリットだと思います。

今まで基準に収まっていたものが排除されるということはデメリットですが、品質に対してお金を払うということ、良いものにきちんと対価を払うということが大事なのではないでしょうか。つまり値段の付け方ですね。それができれば全然問題ないと思いますし、むしろそうなるべきだと思います。

**生源寺** 私自身、今後の農業について、「二兎を追って二兎を得る」ということを申し上げてきました。生産性、あるいは品質といった生産もそのもののレベル、それから環境への負荷の問題、この二つを相当高いレベルで実現していくことが求められているのだと思います。

さらには、近藤先生の最後のお話にありました健康との関係もあります。そうすると三兎を追うわけで、三兎の高いレベルの実現が求められている。こんなことをフレームワークとして考えていたのですが、これを実現するのは科学技術があつてこそだということあらためて確認させていただいたような気がいたします。

私自身の感想を申し上げたわけですが基調講演の近藤直先生、現場の取り組みを報告された辻武史さん、二宮和也さん、神田章さんにお礼を申し上げます。貴重なお話をありがとうございました。