

巻頭言 「所長に就任して-これまでの失敗と教訓-」

特集記事 「未来を拓く果樹研究の最前線」

- ・ 果樹栽培省力化の切り札！？
ロボット収穫機を開発中
- ・ AIが明らかにする育種家の感性
～育種家は何を感じてカンキツのむきやすさと果実の硬さを評価するのか～

カチャカチャTIPS

知ってるようで
知らない果物
パイナップル



所長に就任して 「これまでの失敗と教訓」

果樹茶業研究部門 所長

生駒 吉識

取り組んでいました。

私は、平成2年に農林水産省に入省し、長らく果樹試験場

当時問題が提起され始めた温暖化によるウンシュウミカンの浮

カンキツカロテノイドの専門家

と自負していたこともあり、カ

ロテノイド研究には相当な労力

と知恵を使いました。特に、カ

ロテノイド分析法については、

当時、同じ研究室にいた研究員

の協力を得て、今までにない新

しい分析法を開発しようとして

いました。ところが、カロテノ

イドに対する思い入れが強すぎ

たせいか、正確性は高いが、凝

り過ぎて汎用性が乏しい分析法

としてしまいました。結局、世

の中に広く普及することを断念

しました。まさに失敗事例です。

一方、同時に研究開発を進めて

いたウンシュウミカンの浮皮

(現農研機構・果樹茶業研究部門)の興津にて、カンキツやキ

ウイフルーツの研究に携わって

きました。平成26年以降は、企

画管理部署に移り、果樹研究所

の業務推進室長、農研機構本部

の研究管理役、経営戦略室長、

理事長室長を経て、令和4年4

月に、現職の果樹茶業研究部門

の所長に就任しました。

興津で研究に従事していた頃

を振り返り、皆様にお伝えした

いことを思い出しました。平成

26年の果樹研究所の業務推進室

長に転任する4〜5年前から、

軽減技術については、自らの専門分野という意識がなかったこともあり、既存技術をベースにして、

① 様々なタイプのウンシュウミカンに適用できるようにすること（晩生にだけ使用できたものを、早生、中生にも使用できるようにする）、

② 技術を低コスト化することの2つに目標を絞って、最短経路を通るようなストーリーで技術を完成させました。

出 来上がった技術は非常に単純であり、カンキツ栽培現場でも使っていただけになるようにしました。この技術については、私を含む研究グループに対して、令和4年に園芸学会から「園芸功労賞」が授与されました。こちらは成功事例です。

失敗事例のカロテノイド分析法では、新しいものを見つけようとするあまり、目標に対してわざわざ遠回りして、結局目標までたどり着きませんでした。自らの思い入れの強さが、最短経路を見つけない客観視を邪魔したと思います。これに対して、成功事例の浮皮軽減技術では、こだわりがなく、むしろ専門分野のカロテノイド研究に時間を費やしたいということもあって、無駄を排した目標までの道筋を、意識しなくても見つけたと思います。

実 は、私の悪い癖で、最初は浮皮軽減技術でも、全く新しい方法を開発しようとしてしまいましたが、この分野にこだわりが無かったので、かなり早い段階で、新しい方法の開発をあつさり断念し

ました。

研 究者は専門分野に対するこだわりがあり、目標に対してわざわざ遠回りしたり、難しくしてしまうことがあります。自ら気づいた場合には修正し、本人が気づいていないようであれば、優しく声掛けしてみてはいかがでしょうか。

いづま よしのり

家族は妻と大学生の長男がいますが、名古屋に住んでいるため、単身生活11年目に突入です。小学校3年生以来の阪神タイガースファンで、シーズン中は勝敗が気になります。休日は、韓国時代劇を見たり、将棋の藤井聡太五冠の棋譜を見たりして、楽しんでいます。



果樹栽培省力化の切り札!? ロボット収穫機を開発中!

果実は値上がりしている

皆さんは、最近スーパーで果物が高くなった、と感じることはありませんか？ 事実、国産果実の卸売単価は10年前に比べて、**3割以上**、上がっているのです。消費者のニーズにあった高品質果実が作られるようになったことも一因ですが、実は需要に供給が追いついていないことも大きな要因です。

果実をたくさん作るには？

それでは生産量を増やすにはどうすれば良いでしょうか？ 樹（栽培面積）を増やす、が一番早い解決法です。では栽培面積を増やした場合に、必要なものは？

そうです、果樹園で働いてくれる人です。人手が足りない場合には機械の力を借りて（**機械化**）、これまでに除草作業や、

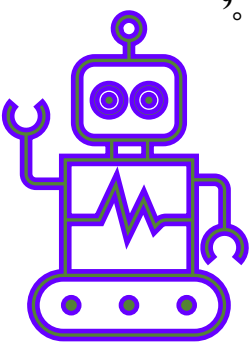
農薬散布などの作業が機械化されてきました。しかし、機械化が進む中でも、取り残された作業があります。その一つが収穫作業です。なぜ機械化が進まないかというと、果樹は樹形が複雑で機械が、果実を認識して、そこに到達することが難しいからです。また、果樹は樹種により、樹形が大きく異なるため、樹種毎に対応した機械を作っても、販売台数が少ないためメーカーが積極的に生産に取り組めないという現状があります。

果樹茶業研究部門
研究推進部研究推進室長

喜多 正幸

発想の転換で開発を進める

そこで、様々な果樹を同じ樹形で栽培して、同じ機械を使えるようにして、開発・生産コストを下げた**収穫ロボットを開発**しようというプロジェクトが立ち上がりました。これまでの「機械を樹に合わせる」という発想を逆転させ、「**樹を機械に合わせる**」という発想です。そしてできたのが、V字樹形（本誌17号「スマート果樹園に適するV字仕立て」参照）のリンゴ・ニホンナシ・セイヨウナシを対象にした果実収穫ロボット（写真1）です。





このロボットは2本のロボットアームを装着し（写真2）、認識し、AIで認識した果実の熟度を判断し、収穫適期と判断した果実のみを収穫します。

写真1 牽引型果実収穫ロボット

収穫速度は人による収穫作業とほぼ同等です。収穫だけでなく、園地内の走行もカメラで樹列を認識して、無人で走行します。現在、プロトタイプの子牽引型で見いだされた旋回・方向転換時の半径が大きくなることや、果実搬送中はロボットアームが非稼働となり経営上非効率であることを改善した、収穫と運搬を独立させた改良型（写真3）の開発が進められています。収穫ロボットは今、現地試験を積み重ねている最中です。ロボット技術がすごい早さで進化を続けているように、収穫ロボットも試作の段階ですが、技術の完成度は日に日に上がってきています。ロボット収穫の果実がスーパーにお手頃価格で並び日は、もうすぐそこかもしれません。



写真2 果実収穫ロボットアーム

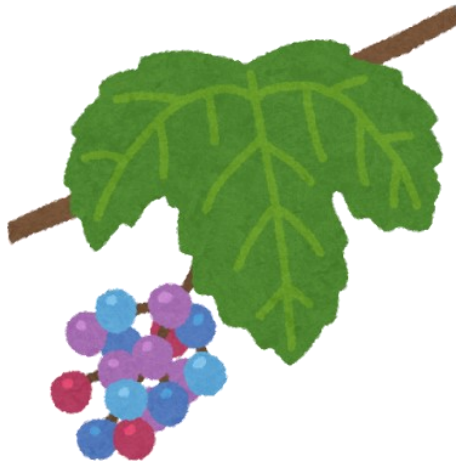


写真3 分離型果実収穫ロボット



果物はいくらでも、モリモリ食べられます（でも味覚は大雑把）。飽きっぽい性格も、「新しい世界をたくさん知れる」と前向きに。理想は「行雲流水」の生活。
写真は、イタリア・シチリア島のブドウ畑にて。

きた まさゆき



AIが明らかにする育種家の感性

育種家は何を感じてカンキツのむきやすさや

果実の硬さを評価するのか

カンキツの品種育成における育種家の役割

カンキツ新品種を育成する際には、育種家は様々な特性を持つ品種や選抜系統から親を選び、交配して種を取り、それらを育てて早く果実を成らせるために接ぎ木をします。そして樹体や果実の様々な特性を調べて、目標とする基準を超えた優れた個体を選抜します（写真1）。その後、いろいろな地域で試験栽培をしてその個体が優秀であるか認められると品種になります。この過程では、育種家が実際に果実を見て、触れて、食べて、それぞれの特性を評価していきます。例えば、果実の食べやすさに関わる一つの重要な特性として果皮のむきやすさ

がありますが、評価に熟練した少数の育種家が実際に手でむいてみて設定した基準に従いつつ各人の感性によって達観的に5段階で評価していきます（写真2）。多くの育種現場では大きな（果実重）、糖度、酸度以外の果実特性は育種家の感性による達観評価した評価値を基に選抜をしています。

新たな育種法（データ駆動型育種）の開発に向けて

近年の育種研究では大量のゲノム情報と果実などの特性データを用いて特性予測モデルを作り、ゲノム情報から果実等の特性を予測して早期に選抜する技術やコンピュータ内で交配シミュレーションをして優れた果実を生み出す交配親を選ぶ技術開発



写真1 カンキツの輪切り画像

カンキツ類の果実は品種によって大きさや色、果皮の厚さ、種の有無などの形態的特徴に加えて香りや甘み、酸味などの違いが大きい果樹です（＝多様性が高い）。

カンキツ研究領域
 カンキツ品種育成・生産グループ
 グループ長 補佐
野中 圭介

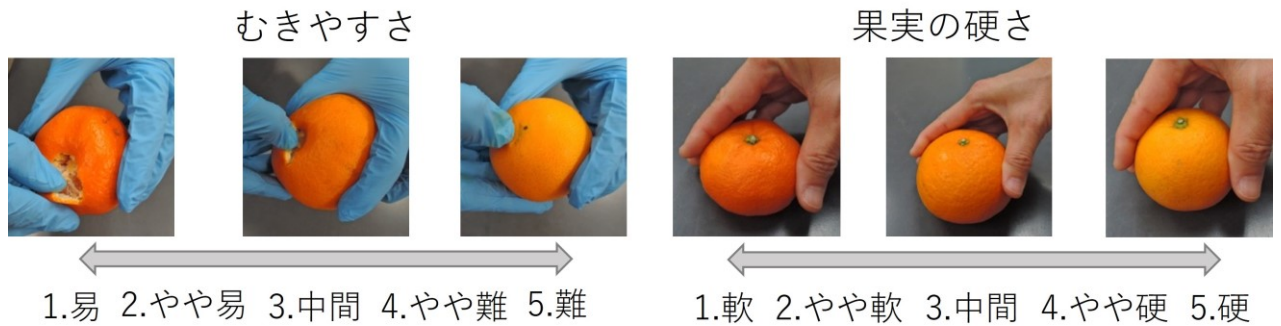


写真2 **カンキツ果実のむきやすさや果実の硬さの達観評価**

むきやすさは果実果頂部（へたのない方）への指の貫入のしやすさと果皮が果肉からの程度スムーズにはがれるかを基準に5段階で評価します。また、果実の硬さは指で果実を押してみても評価値が既知の基準品種と比較してどの程度の硬さかを評価します。例えばウンシュウミカン程度の硬さの果実を1. 軟として、スイートオレンジ程度の硬さの果実は5. 硬と評価しています。

が進められていきます。ここで、正確な特性予測モデルを作るためには大量のゲノム情報に加えて評価値のばらつきが少ない客観的で大量の特性データが必要になります。少数の育種家の感性による達観評価では大量のデータを集めることも難しく、多様なカンキツ果実を評価する中で育種家の熟練度や感性の違いにより評価値にばらつきが生じることも問題となります。

そこで私たちはカンキツ果実の輪切り画像を用いた解析により、果実の形態的な特徴を定量的かつ自動的に評価する方法を開発しました。また、AI技術の一つである機械学習によってこれまでブラックボックスであった育種家が達観的に評価していたカンキツのむきやすさや果実

の硬さはどのような果実の形態的な特徴と関連しているのかを紐づけました。

画像解析技術による果実の形態的特徴の取得

農研機構興津カンキツ研究拠点で栽培・保存されているカンキツ108品種・系統の果実断面の画像から果実の外果皮（フラベド）や中果皮（アルベド）、果肉などのさまざまな形態的特徴をそれぞれ取り出して自動的にかつ数値として客観的に評価する解析技術を開発しました（写真3）。これにより画像データを集めれば誰にでも果実の特徴を示す客観的なデータを得ることが可能となりました。

AI技術で育種家の達観評価と果実の形態的特徴の関連を探る

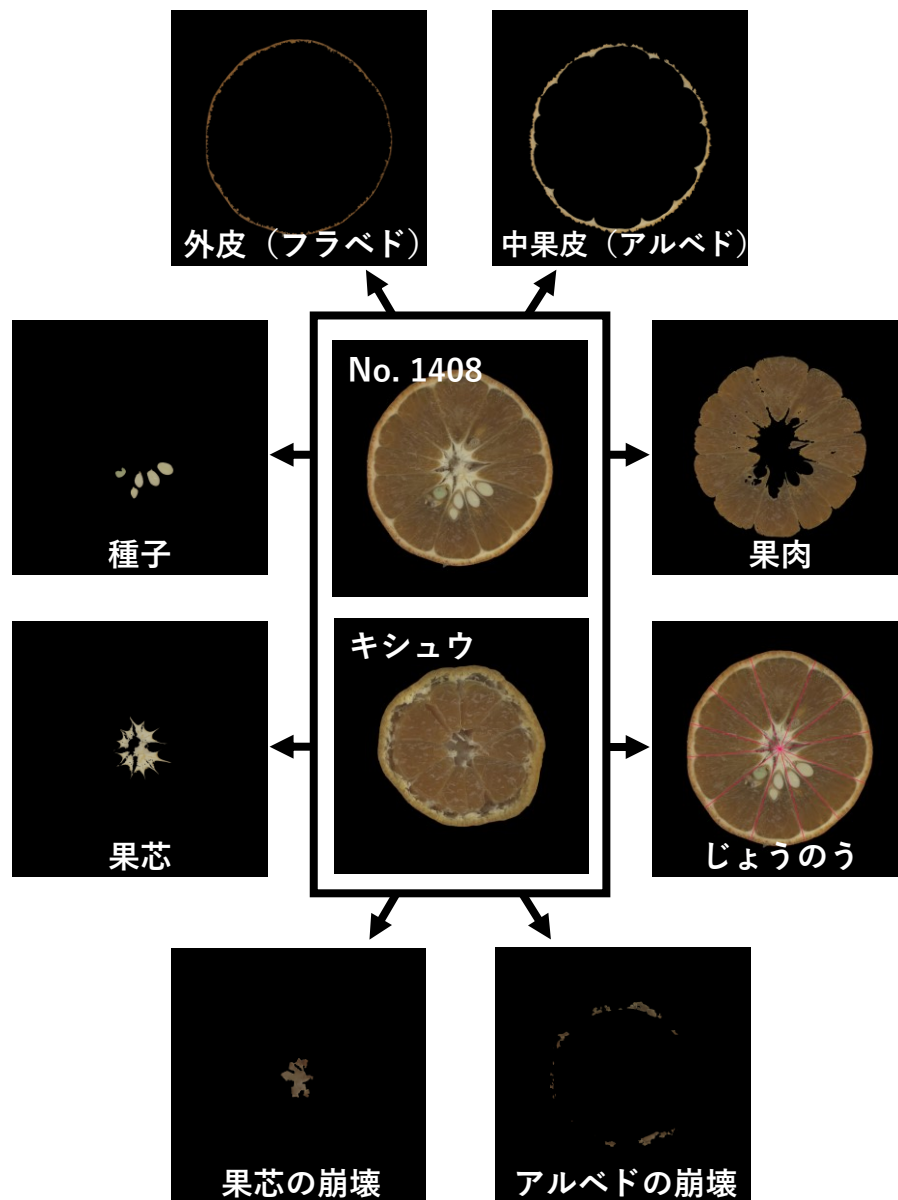


写真3 画像解析技術による果実の形態的特徴の取得
 カンキツの各部位をそれぞれ検出し、色 (L、a、b)
 や面積などを算出して数値として評価しています。

次に、育種家によって達観的に評価されたむきやすさや果実の硬さの評価値と開発した画像解析技術によって定量的に評価された果実の形態的な特徴との関係を機械学習の手法で紐付けしました。ベイジアンネットワークと深層学習(ディープラーニング)という異なる2つの手法の結果では詳細な部分で違いはありますが、概ね似たような特徴に関連があることを示しています。育種家がむきやすくやわらかい果実と評価している品種の果実は果実中心部のすき間(「果芯の崩壊」程度として評価)が大きい傾向があることや、硬い果実と評価した品種は果実の断面積に対する種子面積の割合が高い傾向があることなどを明らかにしました(図1、写真4)。

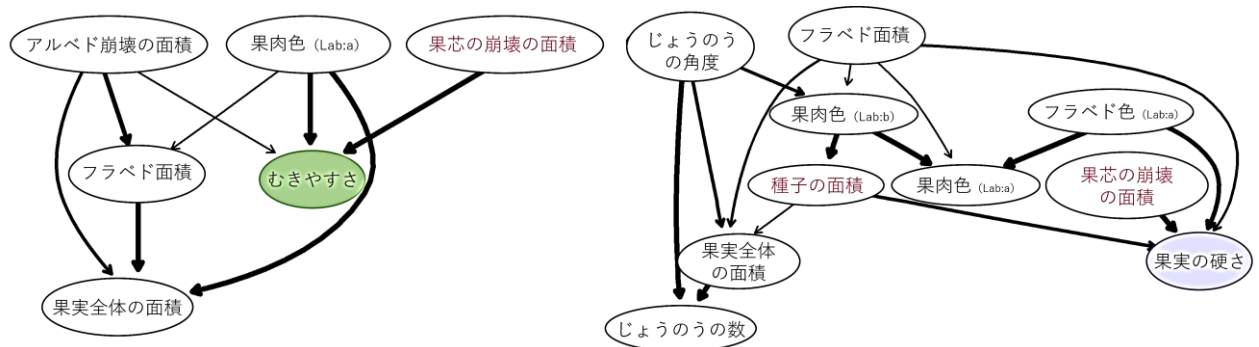


図1 ベイジアンネットワークによるむきやすさと果実の硬さに影響を及ぼす形態的特徴
 形態的特徴から伸びている矢印が太いとより強くむきやすさなどに影響することを示しています。
 ‘果芯の崩壊の面積’はむきやすさ・果実の硬さの両特性に、また、‘種子の面積’については
 果実の硬さに対して、直接的な影響を及ぼしている可能性があることを示しています。

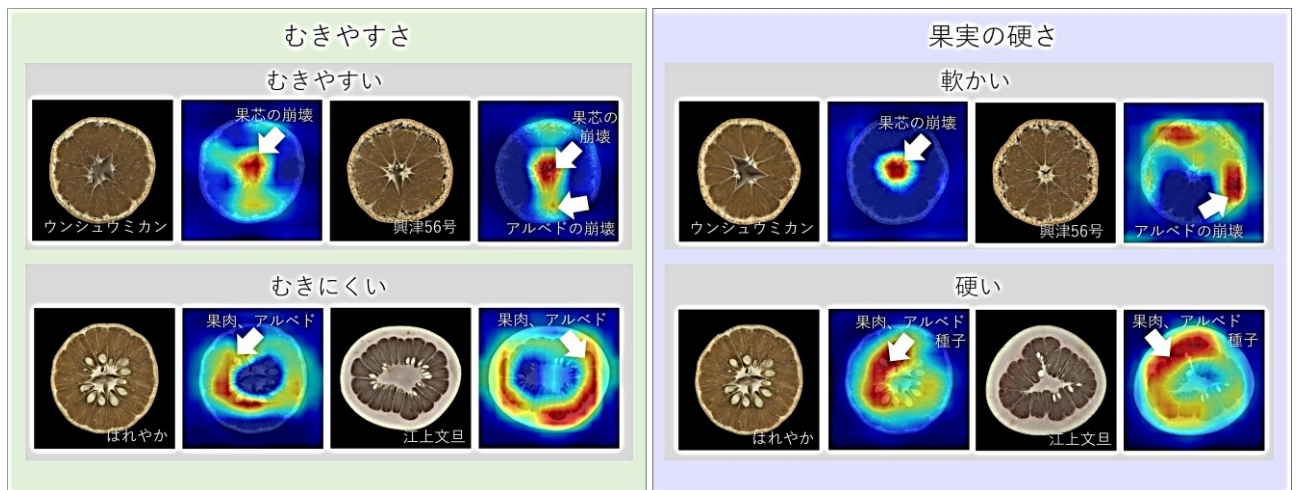


写真4 深層学習によるむきやすさと果実の硬さに関連する領域の可視化
 赤い領域がAIが品種のむきやすさなどを分類する上で強い関連があった領域を示します。
 果芯やアルベドの崩壊領域の特徴が、むきやすい、かつ、軟かい果実の分類に寄与している
 ことが示されました。

おわりに

この研究結果により、育種家が
 達観評価しなくてもカンキツ果
 実の横断面の画像データを取得
 すれば、食べやすさに関連する
 果実特性の客観的な評価ができ
 るようになりました。また、果
 実の形態的な特徴のデータを自
 動的かつ大量に収集できるよう
 になったことから、データ駆動
 型育種による効率的な品種改良
 の加速化が期待されます。今回
 開発した方法論は、カンキツだ
 けでなく、さまざまな果樹への
 応用も可能です。

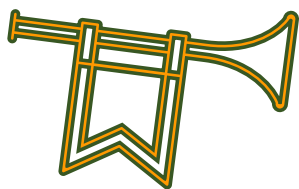


のなか けいすけ

カンキツの品種育成に従事し、果実に含まれる機能性成分のω-3脂肪酸やククリプトキサンチンの高含有化やデータ駆動型育種の実用化に取り組んでいます。また、最近では病害抵抗性育種研究にも力を入れていきます。枕崎でお茶の育種の話も伺ってから緑茶や紅茶に興味を持ち、仕事の合間に、べにふうき、の紅茶の香りや、はるみどり、の緑茶のうま味で心を整えようと試みています。



カチヤ TIPS



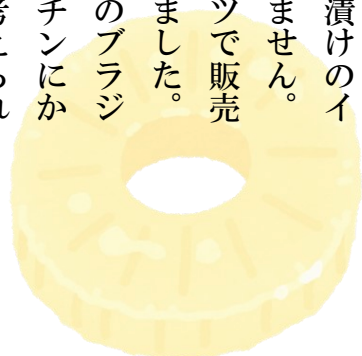
知ってるようで
知らない果物
パイナップル

果樹連携調整役 加藤秀憲

パイナップルに
種はあるの？



パイナップルは、バナナと並んで昔から日本人になじみのある熱帯果樹です。現在では生果で食べたり料理の食材としたり、身近な果樹になっています。年配の方にとっては、小売店の店頭に並んでいるものより、缶詰で輪切りしたシロップ漬けのイメージが強いかもしれません。最近ではカットフルーツで販売されることも多くなりました。パイナップルは、南米のブラジル中南部からアルゼンチンにかけての地域が原産地と考えられ



ています。現在、日本では沖縄県（本島北部や八重山諸島）で主に栽培されています。沖縄県への本格的な導入は、明治21年（1888年）とされ、当初缶詰用でしたが現在は生食用が主流となっています。パイナップルは国が作付面積や収穫量などの調査を行っている果樹（現在14品目）の中に含まれるぐらい重要な品目であり、唯一の熱帯果樹です。

突然ですが、皆さんはパイナップルの種を見たことがありますか？ 多くの方は見たことがないのではないのでしょうか。その理由は2つあります。一つは大きな理由は、そもそも種がない果実を食べているからです。パイナップルは自家不和合性^{じかふわごうせい}と単為結果性^{たんいけつかせい}を併せ持っているた

め、同じ品種だけを植えている畑では、受精することができず、種ができません（自家不和合性）。そして、一般には種ができないと果実自体も生育しませんが、パイナップルの果実は種の有無にかかわらず肥大します（単為結果性）。もう一つの理由は、種ができる場所が果実の表面近くだということです。皆さんが果実として食べているのは、主に花の基部にある花托（花床）と花序の軸が融合して大きくなった部分です（本誌6



写真1 パイナップルの花

号「果物はどこを食べているのですか？」参照）。しかも一つの果実はいくつもの花が集まった集合体でできているのです（集合果 写真1）。

果実の表面にあるひとつの鱗状のものがひとつの花に対応しており、種が出来たとしても比較的表面近くに存在しているため、皮を切る時に一緒に取り除かれてしまい、種を目にすることが出来ないのです（写真2）。皮を残すような切り方をして食べると、もしかしたらパイナップルの種に会えるかもしれません。その種を植えれば世界で唯一あなただけのパイナップル（品種）ができます（味は保証できませんが・・・）。チャレンジしてみてください。



写真2 パイナップル種入り果実
縦切り断面

編集後記

大学生時代、魔が差して工学部の「人工知能概論」という講義を受講した。生物系の学生だった私には前知識も無く、興味本位で取ってみたのだが、初回の講義内容は、カメラで映された映像をデジタル化処理し、数値化して認識する方法の話だった。何となく最新のロボットやPCの仕組みなどの話が聞けるものと思いついていたので、当てが外れた。そこで諦めてしまうところだが（一緒に行った野次馬の同級生達はさっさと止めた）、講義とは直接関係の無いロボットなどの雑談が面白くて、必修の単位でもないのに私は受講を続けた。学期末に試験が行われた。好奇心はまだ続いており、

問題を解いてみる気になった。

大部分忘れてしまったが、1問だけ覚えている、それは「野球場で、外野に飛んだボールを回収するロボット（機械またはシステム）を考察せよ」だった。

人間の外野手のように1球ごとに走って取りに行く方法、ロボットは動かないまま網を飛ばして取る方法（まるで迎撃ミサイル）、カメラを球場全体が見渡せるように複数台設置して外野に転がったボールを認識し、それらを回収する方法など、思いつくままに書いた。発想することが楽しかったので、今でも覚えているのかもしれない。

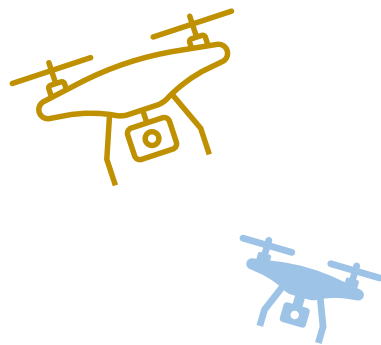
またそれより過去のことだが、中学生の頃に読んだSF（アシモフのロボットものだったよう

な・・)に、ハチドリ型ロボットが果樹園で働く場面があった。このロボットは果樹の周りを飛び回り、害虫をやっつけ、病巣をいち早く見つけて、必要量の農薬を与えるという優れたもの。何でこんなことを覚えているかというと、その物語の中では、ロボットの未来を考えると、人型だけではなくいろいろな分野に適応していく必要がある、その例としてハチドリロボットが出てきたのだ。しかし、中学生の私は、オイオイと突っ込みを入れた。人型ができる技術があるのなら、ハチドリ型の方が先にできるはずじゃないか・・と。

でも今の私は思う、ハチドリ型だって相当難易度が高い、飛んでる虫を捕まえるのは超難しい(虫取り経験者なら分かる)、

益虫と害虫を見分けるのも難しい(擬態している場合もある)、病巣だって診断して薬を選択するのも難しい。ハードルが高いようにも見えるけど、現実世界でドローンはすでに飛んでいる、AIのさらなる発展が、農業に役立つ高機能のドローンを生み出すかもしれない。

アダムU2



CENTENNIAL GALLERY



茨城県つくば市
果樹茶研究部門
図書室に
眠っていた果物図
明治44年
モモ

Fruit & Tea Times

2016年 11月 1日 創刊
2022年 7月 1日 32号刊行

刊行/国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
果樹茶業研究部門

企画・編集/研究推進部研究推進室 TEL 029-838-6447

住所/ 〒305-8605 茨城県つくば市藤本2-1

URL: <http://www.naro.go.jp/laboratory/nifts/>

