

農家の経験を受け継ぐ人工知能 甘いトマトは作れるか

フルーツのような甘さで人気の高糖度トマト。ハウス栽培で成功の鍵を握るのは水やり（かん水）の制御だ。糖度を高めるには生育が阻害されるギリギリの線までかん水を控える必要があるが、その見極めは農家の経験と勘が頼りだった。そこに風穴を開けたのが静岡大学学術院情報学領域の峰野博史教授だ。高糖度トマトの安定的な生産に生かそうと、植物の状態を推定し、かん水を制御する人工知能（AI）の開発に挑んでいる。

みねの ひろし
峰野 博史

静岡大学 学術院情報学領域
教授

温度、湿度、明るさを計測するセンサー

葉の姿を捉えるカメラ

栽培に不可欠な水分量の調節 不十分だった植物との対話

トマトは土壌の水分を極力減らして栽培すると糖度が高まることが知られている。一般には糖度8以上が「高糖度トマト」や「フルーツトマト」と呼ばれる。水分量を調節しやすいよう、肥料を溶かした水（養液）の量を点滴で調整したり、根の広がりを抑えたりといった栽培の工夫もなされるが、枯れる一歩手前を見極め、かん水のタイミングを計るのは知識と経験に裏打ちされた農家の目だ（図1）。この農家

の目に代わって植物の状態を見極め、かん水のタイミングを判断するAIの開発に取り組むのが、静岡大学学術院情報学領域の峰野博史教授だ。

トマトの栽培では、水分量の制御に日射量が使われることが多い。日射量の積算値が事前に設定した値に達したら、自動的に給水するシステムだ。峰野さんに現地試験場を提供している「サンファーム中山」（静岡県袋井市）でも、この方法を使っていた。

しかし、実際に植物が必要としている時に適量の水を与えていたかといえば、「そうではなかった」と同社の玉

井大悟代表は言い切る。トマト栽培に長けた玉井さんは「従来のシステムでは、かん水するタイミングで考慮しているのは日射量だけで、気孔からの蒸散に影響する温度や湿度などは含まれていません。植物と十分に対話できていないと思っていました」と話す。

水分量を減らし過ぎると、うまく生育せず果実が小さくなるだけでなく、病気や害虫にも弱くなる。トマトの品質向上を目指したつもりが、水分調節に失敗して収量を落とすこともあり、安定した栽培は難しい。

葉の上下運動に着目 しおれ具合の定量化に挑む

峰野さんの狙いは、植物の状態を把握しながら適切にかん水するAI栽培技術を確立することで、かん水の負担を軽減しつつ、糖度と収量も両立させることだ。そこで、まずは植物が感じている水分ストレスの見極めに取り組んだ。着目したのは、熟練の農家がかん水のタイミングをどう見極めているかだった。農家が植物の水分ストレスをどのように捉えているかを明らかにできれば、それを定量化してシステムに組み込める。そう考えて農家に聞き取りをすると、どうやら葉の下向き加減、つまり「しおれ具合」を判断基準にしていることがわかってきた。そこで定点カメラで観察すると、確かに時間の経過とともに葉が上下していた。

「理科の授業で習ったように、光が当たると気孔が開き蒸散が促進され、根から水を吸い上げます。土の水分が不足していると植物体内の水分が減り、茎は細くなり、葉の張りも無くなって葉の重さを支えきれなくなるようですが、水が与えられると葉は再び持ち上がっているようでした」と葉の上下運動を説明する。

そこで峰野さんは考えた。葉が上下する動きや温度や湿度など環境に関するデータなどからしおれ具合の特徴を定量化できれば、最適なかん水の量と時期を予測できるのではないかと。峰野さんの専門は情報科学だが、さきがけ開始後に植物生理を猛勉強し、買い求めたこの分野の本の冊数は「本棚一段分くらい」。二宮研究総括や領域アドバイザーが研究現場を訪問するサイトビジットや、領域会議でも、データを見てもらいながら有意義なアドバイスを得た。こうして新たに身に付けた知識が、研究アイデアの実現につながった。

AIで水分ストレスを予測 葉の姿と環境情報をモデル化

しおれ具合に関する特徴を取り出すため、ハウスに定点カメラと無線環

境センサーを複数設置し、時系列で得られる植物の画像、茎の太さ、温度、湿度、明るさなど多種類のデータを収集した。特徴抽出に用いたのはマルチモーダル深層学習という手法だ。マルチモーダルとは複数のセンサーから得られる画像やデータといった異なる様式の情報を組み合わせることで、深層学習とは多層のニューラルネットワークによる機械学習を指す。人間が視覚、聴覚、触覚など多様な情報を統合して処理しているように、複数の情報を組み合わせることでAIの精度や頑健性の向上が期待できる。

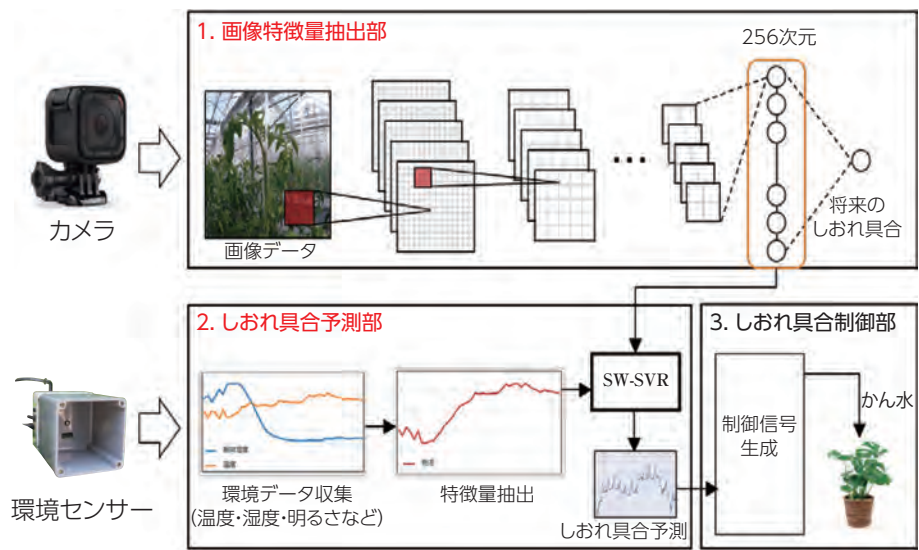
峰野さんらが開発したAIは3つの部分からなる（図2）。1つは、画像データからしおれ具合の特徴を抽出し、将来のしおれ具合を「茎の太さ」として予測する画像特徴量抽出部だ。



しかし、画像データのみからの予測では当然精度が低い。そこで、続きしおれ具合予測部で、しおれに影響を与える温度、湿度、明るさといった環境データから抽出した特徴量と、1つ目のモデルから得られた特徴量を統合し、しおれ具合、つまり茎の太さを予測する。得られた予測値に応じて、



■図1 少ない水で栽培することでトマトは甘くなる。しかし、水を減らし過ぎると枯れてしまうため、植物の状態を見極め、水やりのタイミングを計る必要がある。



■図2 カメラで捉えた葉の画像データと各種センサーからの環境データに基づき、しおれ具合の特徴量を抽出し、水分ストレスの指標となる茎の太さを予測する。予測に基づき、かん水を制御する信号が生成される。



■図3 予測された茎の太さに応じて、ハウス内に設置された養液タンクから自動的にかん水する(左)。タンクから伸びるホースはそれぞれの株の根本につながっていて(赤矢印)、水分量を調節している。

しおれ具合制御部が自動的に給水する仕組みだ(図3)。農家が環境や作物の状態から変化を予測して毎日のかん水の量を決めるのと同様に、画像や環境情報からしおれ具合の指標である茎の太さを予測し、予測値に基づいてかん水を制御するAIが実現できたのだ。

開発にあたり峰野さんらがこだわったのは入力データ量の削減だ。それぞれのデータを膨大に収集して特徴を抽出すれば、それだけ精度は上がる。しかし、入力前のデータ処理やアルゴリズムなどを工夫し、少ないデータで同等の精度を持つシステムを目指した。

「データが多ければ精度は上がりますが、データの収集が仕事になってしまうことは避けたかったのです。力技でデータを集めることもできますが、GAFA(米国に拠点を置く主要IT企業4社)にはかないません。データの規模で勝負するのではなく、少ないデータ量で高い精度を実現しようと考えました」と峰野さんは説明する。

少ないデータでも精度向上 環境変化にも自ら適応

このための工夫の1つが、コンピュータが特徴を抽出しやすいよう元画像を加工する方法だ。ひらめいたのは、学生と一緒に画像データを見ていた時だった。カメラの画像には、植物だけではなくビニールハウスの部材や背景などさまざまなものが映っている。ぼんやりと見てい

るうちに、人間は無意識に動いている葉の周辺だけを観察しているという当たり前のことに気づいた。

「コンピューターは人間と違い、画像に映る全ての情報を見てしまいます。それならば、見てほしいところだけを抽出して与えればいいと思いつきました」と振り返る。

そこで時系列の画像を比較して葉の運動量をベクトル化し、ベクトルの大きい部分、つまり動いている葉の周辺だけをくりぬく手法を確立した(図4)。

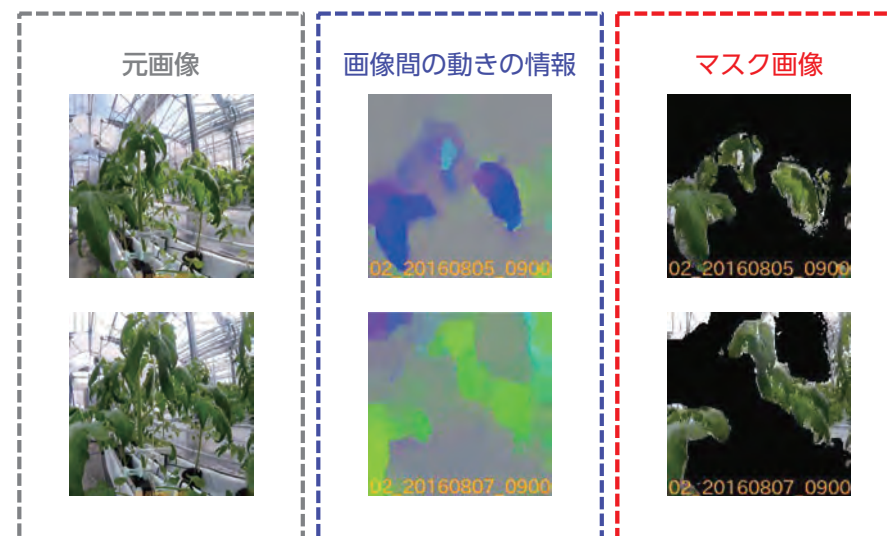
もう1つの工夫が、しおれ具合予測部で用いた適応型学習器「SW-SVR」という学習アルゴリズムだ。多くのデータがあれば予測の精度は上がる。一方、この学習器では、多くのデータをそのうちのごく一部で表現することでデータ量を削減している。

「私たちが明日の気温を考える時、過去の全ての記憶を使って想像しているわけではありません。使っている

情報はごく一部です。では、そのごく一部をどうやって選んでいるのかというと、夏の情報、明け方の情報といった具合に情報を特徴によって分類し、グループ化(クラスタリング)しているだろうと考えました」。

このようにクラスタリングすると、グループごとにデータのばらつきが生じる。そこで重心からのばらつきに応じて半径を設定し、その円内に含まれるデータだけを使ってグループごとのモデルを構築する。こうして構築した複数モデルの予測値の加重平均を取って、状態を推定するのが、この学習器の特徴だ(図5)。気温の予測を例にとると、冬の朝について推定するのであれば夏や夕方に関するモデルの予測はさほど考慮しないといった具合に、データ値により近いグループのモデルが重要であるとして予測する。未知のデータであっても、それぞれのグループからの距離に応じて重み付けし、予測値の平均を取るため、安定した精度を得られる仕組みだ。

こうした工夫により、精度をある程度維持したまま、データ量を10分の1に削減することに成功した。データが増えてきて誤差が大きくなった際には、クラスタリングをやり直しモデルを再構築する機能も組み込んでおり、環境変化など状況に合わせて自ら学習し、精度を維持できる。



■図4 元画像からしおれ部分を上手に抽出する。人間の目が自然に行っているような要素抽出により、データ量を大幅に削減できる。

現地試験で高糖度を確認 品質と収量の安定化に期待

開発したAIは早くも実際の事業につながろうとしている。2018年には農業AIを扱う大学発ベンチャーとしてアグリエア(静岡県浜松市)が立ち上がった。

起業のきっかけは、玉井さんや農作物の生産から流通までを一貫して扱うハッピークオリティ(静岡県袋井市)の宮地誠代表取締役との出会いだった。宮地さんは玉井さんの協力の下、高濃度トマトのブランド化を目指していたが収量と品質がなかなか両立できずにいた。技術指導も実施したが、技術の普及が追いつかない。そんな時に目に飛び込んだのが、「高糖度 AIにお任せ」という新聞記事の見出しだった。記事では峰野さんの技術が紹介され、さらに「現地試験を進める予定」とあった。

宮地さんと玉井さんはすぐさま静岡大学に連絡し、サンファーム中山を現地試験場とすることを提案したという。峰野さんにとっても、大学の近くに試験場を確保でき、また農家や市場の感触も知ることができるありがたい申し出だった。決断に時間はかからなかった。早速開始した現地試験では、農業AIによりかん水を自動化し、高濃度トマトを安定生産することに成功した。試験開始から2年が経った現在では、最高糖度16.9、平均糖度8.87を達

成している。この技術を社会に還元するために起業したのがアグリエアだ。

同社でも代表取締役を務める宮地さんは「農家の所得が上がらないことが問題になっていますが、最大の理由は技術です。技術が安定しないから品質や収量も安定しない。峰野さんが開発したAIは高糖度トマトで所得を向上したい農家にとって大変有益だと思います」と意義を語る。

望む生育状態から環境設定も 他品種への応用も目指す

現在のシステムは農家での導入を想定しているが、レベルに応じて使い分ければいろいろな活用が可能だ。例えば、家庭菜園での利用であればカメラのみ、あるいは安価なセンサーのみで十分な精度は出せる。また、予測値に基づき自動かん水システムを制御する代わりに、かん水のタイミングをメール通知するといった利用法も考えられる。

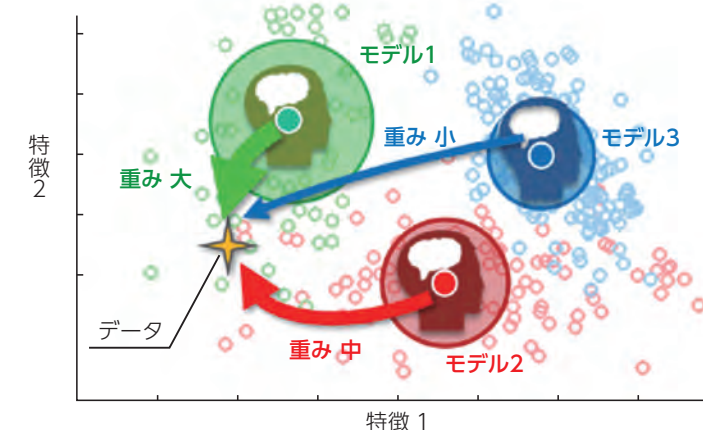
教育現場から「プログラミングの演習で使いたい」という声も寄せられていることから、より簡便化したバージョンをウェブサイト上で公開することも検討中だ。「興味を持った子供たちが自作のかん水装置などと組み合わせ遊んでくれば、教育の底上げにつながるでしょう」と目を輝かせる。

さまざまな利用に向け期待が高まる一方、まだ課題もある。現在取り組

んでいるのは、他品種や異なる栽培環境にも適応可能なAIを構築することだ。品種や培地、養液濃度などに関係なく、かん水のタイミングを判断できるよう、さまざまな条件でトマトを栽培し、データを収集している。将来的には露地栽培にも利用したいと考えている。

さらに、これまで集めてきた環境データに加え、光合成量などの生理情報を集めたいと話す。生育に関する経時情報が得られれば、環境情報から生育を予測するのは逆に、「望む生育状態」を再現するために環境をどう設定すれば良いかを導き出せるかもしれない。いずれは「囲碁のアルファ碁のように、AIが人間では思いつかない新たな栽培手法を提案できるかもしれません」と夢を膨らませる。

農家の高齢化が急速に進み、後継者や担い手不足が大きな問題となる一方で、農業を志す人も一定数存在する。農家が長い年月をかけて培ってきた「経験と勘」をAIで補完し、就農してすぐに優れた品質の野菜が生産できるとなれば、誰もが生活の不安なく、新たに農業にチャレンジできるだろう。農業の世界にも押し寄せる「働き方改革」。最新技術で効率性と収益力を高め、誰もが生き生き働き、より生産性を高めていく好循環を生み出していく。新しい社会の足音が聞こえてくる。



■図5 適応型学習器「SW-SVR」ではデータをクラスタリングし、グループごとのモデルを構築する(モデル1~3)。星印のデータから予測する場合、各モデルの予測値の加重平均を取るため、データから距離が近いモデル1(緑)の予測値が重視され、一番遠いモデル3(青)の予測値の重みは小さくなる。

