

# AOI FORUM REPORT

VOL. **4**  
2021

[アオイフォーラムレポート]

— 特集

## イ マ ミ ラ イ 農業の現在と未来



2021 SPRING / FOURTH ISSUE / VOL.4

AOI-PARCの開所から今年の夏で丸4年を迎え、大学・研究機関や生産者・民間事業者とのオープンイノベーションも更に活発になっています。本誌では、オープンイノベーションでの成果から農業の現在と未来の展望について切り拓いていきます。

AOI  
FORUM  
AGRI OPEN INNOVATION FORUM

# 農業の現在と未来

## 焼津水産化学工業株式会社(焼津市)・株式会社東商(焼津市)

### 天然素材に含まれるキチンを効果的に農業に活用

キチンは、エビ・カニなどの甲殻類や昆虫などの外骨格(殻)の主成分であり、キノコの細胞壁など多くの生物に含まれている天然の成分です。欧州や日本では昔からカニの殻を農業資材として有効活用する伝承農法があり、キチンに関する研究が進められてきました。今回はキチンを極めて小さい分子量に加工したLMC(低分子量キチン)という素材を使用した、新たな農業資材を紹介します。



### 速効キチン肥料 LMC3000

“速効キチン肥料”は、キチンを天然の形のまま低分子量化した、植物と微生物が素早く利用できる天然由来の新素材に、リン酸、カリ分を追加した、カニ殻等を使用するよりも少量でその効果を発揮する作物栽培の補助剤(サプリメント)様肥料です。

### 世界唯一の技術で作られた次世代素材

焼津水産化学工業(株)は、天然素材から人々の生活に有用な様々な成分を取り出し素材にする技術で大きな成果を挙げている企業で、健康や美容、医療にかかわる機能性素材の分野に活用されている、幅広い製品展開をしています。中でも、カニ殻から抽出、精製されたLMC(Low Molecular Chitin)は、近年欧州を中心に注目を浴びているバイオスティミュラント(以下BS)に分類される素材です。BSは、植物に対する非生物的ストレスを制御することにより、気候や土壌のコンディションに起因する植物へのダメージを軽減し、植物を健全化する新しい技術です。つまり、栄養素でない形で刺激を与えて、植物が本来持っている能力を引き出すという概念です。欧米では広く浸透した概念ですが、日本はこの分野において後進国です。

一般的なキチンの分子量は100万以上というサイズですが、LMCはキチンの糖鎖を効率的に効果を発揮できるサイズに加工しています。分子量1,500以下にまで一気に細かくし、オリゴ糖に分解させる技術は競合他社も用いています。キチンの構造を維持したまま、3,000という分子量に留めたLMCを作りだせるのは、世界でも同社だけが持つ特筆すべき技術です。

LMCは農業分野に新たな改革を起こせる素材と考えられましたが、焼津水産化学工業(株)は農業分野は専門外だったため、どのように試験をしたらいいか、消費者の課題が何なのか、販売価格も、提案先も分からなかったことから、醗酵油かすを始めとする有機質肥料の製造販売を手がける(株)東商とのマッチングをAOI機構が行い、肥料開発がスタートしました。

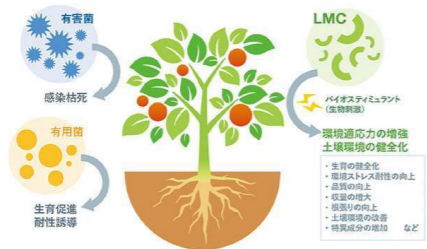
(株)東商は、昔からカニ殻に含まれるキチンが農作物に良いということは知っていたものの、効果が実感しづらいと感じていたのが実情でした。

そんな中、キチンを低分子量化したLMCの技術の話聞き、これなら何か変化が起こるのでは、と焼津水産化学工業(株)と

の肥料開発に乗り出しました。こうして2社共同で製品化したのが、「速効キチン肥料 LMC3000」です。

LMCを肥料として商品化する際には、新素材、新技術であるがゆえ認可を取得することに苦労がありました。肥料とするには目的が何かということを確認しないと、異物と判断され国から認可されないため、各方面に問い合わせをし、協力を得ながら認可取得を目指しました。その2社の念願が叶い、許可が下りたのは2018年の6月で、販売開始が2018年の12月でした。販売以降、以前からカニ殻を使用していた消費者から大きな反響を呼びました。

### 植物本来の力をより強く引き出す



LMCの良さは、植物の本来持っている能力を引き出すチカラにあります。栄養を与えて作物を大きくする通常の肥料とは別物です。例えば、近年の地球温暖化の影響に付随する環境ストレスに関して、LMCを与えることでストレス耐性をあげることが期待できます。生産者側からすれば、SDGsの観点からもハウスで冷房を使用することも難しいため、植物本来の能力を引き出すLMCは画期的なものです。

また、BS効果が期待されるLMCは食品素材でもあるため、環境に配慮し、人体に優しい資材として安心して使用することができます。

### 研究 低分子量キチン(LMC)を利用した育苗期バイオスティミュラント(BS)効果

植物は、もともと、種として成長できる最大量が決まっています。ところが、育苗の時期などに、高温や物理的な損傷(非生物的ストレス)、病気や害虫(生物的ストレス)を受け、本来、成長できる最大量が減ってしまいます。

BSは、この非生物的ストレスによる成長の減少を緩和することが役割です。

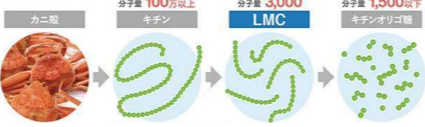
肥料とBSは混同されがちですが、肥料が栄養素であるのに対して、BSは植物や土壌を刺激することで、それらが本来持つ自然能力を引き出すものです。

この画像は、トマト育苗に極めて薄いLMC希釈液を葉面散布した事例であり、LMCが刺激しただけで、驚く程にトマト苗は健全に成長しています。



▲トマト(品種:CF根太郎ヨーク)のBS効果の比較  
左:LMC無処理、中:LMC 0.006%散布、右:LMC 0.012%散布し、育苗を比較した。

ます。通常、肥料は他の肥料とどう組み合わせるかが難しくなりますが、LMCの場合、環境ストレス耐性を強化できる素材として提案された作物栽培の補助剤(サプリメント)のため、他の肥料と合わせても使いやすいというのが強みです。



▲キチンは、植物細胞の細胞壁成分であるセルロースに次いで豊富に存在するバイオマス資源で、地球上で合成されるキチン量は1年間で1,000億トンにもなると推計されています。しかし、普通の溶媒には溶けないためほとんど利用されていません。構造はN-アセチルグルコサミンが直鎖型に数百から数千と長く連なった構造になっています。

### LMCの普及を目指して

LMCを広く普及させていくにあたって、知見を増やし、より幅広いデータを収集していくことが今後の課題です。そのため現在は、実際に消費者のフィールドでどれだけ効果が見えるかというデータを収集しています。一例では、県内のバラ園にて「速効キチン肥料 LMC3000」の散布試験を行いました。自然環境において、季節の変化、長いスパンでどういった効果が見えるのか、どんな違いがあるのかをフィールドで調べていきたいと考えています。また、LMCを他の有機質肥料と混ぜ合わせた時、土の中でどういった相互作用が見えるのかも確認して行きたいと考えています。

日本は、自然環境に対する研究が進んでいる欧州や、すでにBSが普及しているアメリカと比べると、環境に対する先駆的な考え方が追いついていないのが現状です。しかし、今回開発した「速効キチン肥料 LMC3000」やLMC素材を起爆剤に、日本でBSを普及させ、より健康で環境に優しい農業を広めることが大きな目標です。この肥料開発では、自社だけではできないことを、他社と共働して、現場の課題や素材の評価を知ることができました。今後も分野の違う様々な業界や学術界とも手を携えて、各社がそれぞれの分野で得た知見を農業に活用していきたいと考えています。



インタビューの様子:  
写真左より(株)東商 桂様、村田様、焼津水産化学工業(株) 樋口様、片山様

## ベルファーム株式会社(菊川市)

### トマトの栽培の鍵を握る「低段密植栽培」

多段栽培よりも密植して、1~6花房程度を残して摘心する短期栽培を繰り返す栽培法の総称です。これは、高温多湿で樹勢の低下が避けられない日本の夏期でも安定した収量を確保できる、日本独自の養液栽培システムで、トマトの周年安定生産技術として近年注目されています。年1作の長期栽培では収量は増えるものの軒高が高いハウスが必要でしたが、この栽培法では通常の軒高のハウスでも栽培できる強みがあり、1作あたりの栽培期間が短いため、病害虫の発生も軽減されます。

### トマト栽培のリスク軽減を目指す

「トマトの低段密植栽培の環境制御による安定生産と、超低農業栽培による高付加価値化」は、鈴与グループの агро事業部門であるベルファーム(株)が、低段密植栽培におけるカビ菌を紫外線照射で減らす研究を成功させたことに起因し、農林水産省の委託事業として、ベルファーム(株)、静岡県、農研機構、鈴与商事の共同研究として始まりました。トマトはナス科の野菜の中でも、発生する病気の種類が最も多く、症状は葉・茎・根・果実・花と株のあらゆる部分に現れ、日々の観察が不可欠です。

トマトの一般的な栽培方法は長段栽培で、夏に種を蒔き苗を定植し、秋頃から収穫を始めて、翌年の7月から8月頃まで収穫を続けます。長段栽培のメリットは、栽培期間が長いことにありますが、それ故に病気が発生するリスクが高く、必然的に農業に頼らねばなりません。これを1作あたりの栽培期間が短い低段密植栽培にすることで、害虫の発生の軽減、病気のリスク軽減が図れ、農業の使用量を減らすことができます。しかし、収穫量が減ってしまうデメリットもあります。これを解決するため、より高密度に栽培の回数を多くすることで、収穫量と経済性を高める研究を2年間にわたり進めてきました。

### 育苗・圃場の環境制御と超低農業栽培の実現

このプロジェクトの事業化完成のためには、目標とする30t/10aを確保する必要があり、そのために育苗期間の最適環境制御手法の確立、圃場における光合成を最大化する環境と養液の制御、トマトの超低農業栽培に関する技術開発、この3点に取り組みました。低段密植栽培を行う上で、圃場で定植から収穫までの回転率を上げることが1つのテーマでした。そこで40日間を苗を

### 研究 明期・暗期温度差(DIF)および給液制限を活用したコンパクト苗生産

ベルファーム(株)が目指す「多取低段密植栽培体系」を確立するためには、人工光型育苗システムにおけるコンパクト大苗育苗技術の確立が必要です。そこで、DIFおよび給液制限を活用したトマト苗のコンパクト化を検討しました。トマト苗はマイナスDIF(明期温度<暗期温度)でコンパクト化しますが、育苗時の光合成有効量子束密度(PPFD)が低いと苗が徒長しその効果が

### ■ トマト苗の育成状況(播種35日後)

処理区	草高 (cm)	葉数 (枚)	生体重 (g/株)	葉面積 (cm <sup>2</sup> /株)
少給液	33.9±0.4	6.7±0.1	11.6±0.6	111±22
多給液	45.4±0.9	7.2±0.2	17.9±1.5	226±17
(少/多)	(0.75)	(0.93)	(0.65)	(0.49)

※DIF:-10℃(明期16h,22℃/暗期8h,32℃)、光合成有効量子束密度:250μmol m<sup>-2</sup>



ん。農業の散布回数を減らすことは大きな課題でした。低段密植栽培では、圃場に定植してから、収穫が終わるまでの期間が短いので農業の散布回数も少ないですが、その期間中に一番発生しやすい病気は「うどんこ病」です。その防除に、ベルファーム(株)が以前から研究していた紫外線照射を活用しました。低段密植栽培は、年1作の長段栽培よりリスクヘッジできていますが、紫外線照射によってさらにリスクを下げ、超低農業で安心・安全なトマトの出荷を可能にしました。

### 超低農業×高糖度 消費者ニーズに見合う開発を目指す

現在はスマート農業実証事業のフィールドで次のステージとして採択されています。SIPという内閣府の戦略的イノベーション創出プログラムで開発された栽培技術や収量予測技術をベースに、高糖度トマトにバージョンアップする予定です。これは、市場や購買者が必要とするものを提供するマーケットインの考えに基づいており、超低農業に高糖度という付加価値を加えたブランディングで、市場価値を上げていく狙いです。同時に、紫外線照射の技術向上や、より密植できるコンパクトな苗の生産技術等更なる効率化と品質向上も目指します。



▲ベルファーム(株)のトマト栽培の様子



▲あかでみトマトの育苗の様子



▲ベルファーム(株) 岡田社長



インタビューの様子:  
写真左より静岡農林技術研究所 大石研究統括官、ベルファーム(株) 酒井部長

## 株式会社ファームシップ（東京都）

### 「植物工場」が未来の農業を変える

農業人口の減少や、少子高齢化などの社会問題を解決する一手として期待されている、最新のIT技術で脱属人的な農業を可能にする「スマート農業」。

日本では未来的な農業として「植物工場」の導入が進んでいます。施設内で、光、温度、湿度など、植物の生育環境を制御しながら栽培します。現状ではまだ導入・運用面でのコストの問題があるものの、気候変動に左右されず、常に一定のクオリティの野菜を計画的に栽培・収穫することができ、栽培期間中は土や農薬を使用せず衛生的であることが大きなメリットです。昨今の社会情勢で清潔さに対する感度が高くなっていることを踏まえても、これからの技術革新と普及に大きく期待したい新しい農業の形です。

### コンテナサイズの植物工場

(株)ファームシップは、「農」と「食」の未来を創造するアグリテックベンチャー企業です。その技術を生かし、2016年にBlockFARMというコンテナ型植物工場を開発しました。BlockFARMは環境制御面が極めて高度であることが特徴で、生物学的に植物を捉えたエンジニアリングをすることに最も気を使って開発しています。そのため、どんな人でもある程度、簡単に植物栽培ができるレベルになっています。また、COMPASSシステムによる遠隔コントロールで、日本国内から海外のBlockFARM内の環境をコントロールすることが可能です。

世の中に似たようなシステムはありますが、完全人工光の閉鎖環境で植物を育てる機械・装置において、統合的に環境制御を行い、かつ遠隔で監視・制御ができるシステムは、世界的にも稀有な技術です。

この技術で(株)ファームシップが海外展開に踏み切る際、最初の進出国にシンガポールを選択しました。海外進出の際には、アジアが1つの大きなマーケットになっており、その中でもシンガポールはアジアのハブ的な役割があるため、「発信拠点として非常に良いのではないか」と考えたからです。

### 海外生産に向けた取り組み

BlockFARMを使って海外生産を行う際、自社ではまだベビーリーフの栽培技術等が確立されていなかったため、AOI機構のマッチングにより静岡県農林技術研究所（以下農技研）にベビーリーフの栽培レシピ開発を依頼することにしました。ベビーリーフを選んだのは、ベビーリーフやカイワレなどの発芽野菜は、高回転かつグラム単価で見ると非常に高単価で販売されている野菜で、かなり大きな市場になっていることが理由の1つです。

また、これらの野菜は包装されて販売されているので一見清潔なイメージがあると思いますが、ベビーリーフは土耕で作

られていることが多く、土や風に乗ってほこりや菌が付着しているので、実はあまり清潔ではありませんでした。そのため基本的に食品工場、サラダ工場では使いにくい野菜の1つになっており、そこに需要がまだ眠っているのではないかとというのがもう1つの理由です。

ベビーリーフは最大12品目を、2週間程度で10センチ前後の大きさで収穫をすることを目標としていました。農技研も植物工場での栽培はゼロベースからのスタートで、温度や、播種の方法(種のまき方)など、いろいろ条件を変えながら試験を繰り返してレシピを開発し、そのレシピを参考に現地に設置したコンテナで、ベビーリーフの生産を開始しました。

2019年から2020年にかけては、現地の各種レストランを中心に、個人顧客を対象としたテストマーケティング活動を実施。

その結果、シンガポールでは日本らしさがありスパイシーなわさび菜が好まれることがわかりました。日本はどちらかというと、えぐみが少なく癖のない野菜のほうが好まれる傾向ですが、海外、特にシンガポールではスパイシーなものが比較的好まれる傾向にありました。商品開発をしていく上で、日本と同じでは通じない、現地のローカライズの必要性を感じました。

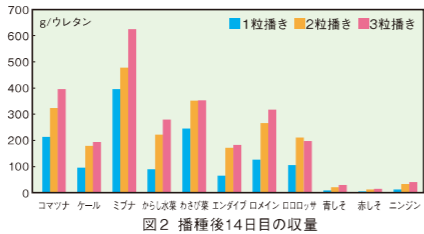
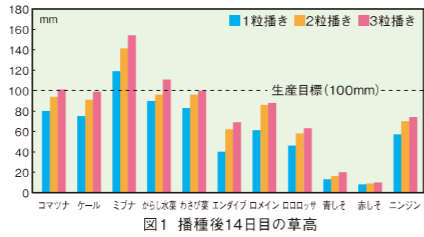


### 研究 人工光型植物工場におけるベビーリーフの栽培レシピの開発

農技研では、(株)ファームシップからの委託研究により播種後14日目に草高100mmを生産目標とし、研究を開始しました。1回目の試験では11品目の種子を吸水させた水耕育苗用ウレタン培地(300穴)にピンセットを用いて播種し、ウレタン培地を播種箱に乗せ、水耕用LED栽培装置に設置し、移植はせず収穫まで栽培しました。

試験区	播種密度	播種方法	ウレタン培地
1粒播き区	300粒/枚	1粒/穴	300穴
2粒播き区	600粒/枚	2粒/穴	300穴
3粒播き区	900粒/枚	3粒/穴	300穴

結果として、草高は、全ての品目で、3粒播き区が最も大きく成長し、収量においても、ロロロッサを除いて、3粒播き区が最も多いことがわかりました。この結果から、300穴ウレタン培地を用いたベビーリーフの水耕栽培では、1穴あたりの播種数が多い程、収量及び草高が増大することがわかりました。



### 「農」と「食」持続可能な農業とは



インタビューの様子(株)ファームシップ 北島代表取締役

(株)ファームシップは大型の植物工場を各地に展開していますが、植物工場というのは非常にお金がかかるため、農業生産の大部分を支えている一生産者や小規模な事業者が取り入れようとしても、手が出しにくいのが現実です。そこで、何とか安くかついいものが作れないかと開発を最初に始めたのが、コンテナサイズの小さな植物工場BlockFARMです。

それでもまだ高価なので、ベビーリーフのような高単価で回転率のいい野菜が事業ベースに乗せられる品目になっています。今後、低単価野菜の提供が可能になれば、BlockFARMが1つの農業の形として浸透し、農業界が変わると信じ、そのための技術開発を少しずつ進めています。

そして、中長期的には(株)ファームシップのミッション・ビジョンでもある「農」と「食」の問題解決を目指しています。食や農業の現場にはロスが多く、非常にもったいないと感じています。持続可能な農業とは何かに目を向け、その実現のために何をすべきかを考え、植物工場を使った農業の工業化で、生産の現場と販売の現場のロスをなくす仕組みづくりにチャレンジしていきたいと考えています。



▲BlockFARM内での生育の様子

栽培レシピの開発を引き受けた農技研柳瀬主任研究員。BlockFARMの実物が無い為、研究施設にBlockFARMに近い栽培条件を描えることから始まり、生産の効率を考えた播種の方法等を模索した。

▲静岡県農林技術研究所 柳瀬主任研究員

## 慶應義塾大学SFC研究所AOI・ラボ

### 「機能性表示」をするメリット

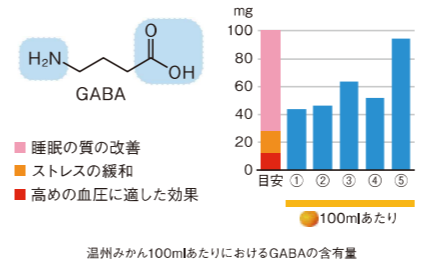
「機能性表示」は、これまで飲料やヨーグルトなどの加工食品が主な対象でしたが、近年は生鮮品の届け出が増えてきています。国の定めるルールに基づき、事業者が食品の安全性と機能性についての科学的根拠等を消費者庁長官に届け出れば、機能性を表示することができます。特定保健用食品と異なり、国が審査を行わないため事業者は自らの責任において科学的根拠を基に適正な表示を行う必要がありますが、食品のパッケージなどに「血圧を抑える」や「骨を強くする」など、機能性を表示することができるので、販売促進に繋がるのが期待されています。

### 科学的分析で農産物に付加価値をつける

2017年8月から、AOIプロジェクトで三ヶ日みかんの機能性表示取得に関する事業が始まりました。AOI-PARCの入居研究機関である慶應義塾大学SFC研究所AOI・ラボ(以下、慶應)の強みは、メタボローム解析という生体内に含まれる代謝産物を網羅的に調べる技術に長けていることです。中でもLC-MS(Liquid Chromatography Mass Spectrometry/液体中の成分を分離し質量検出器で検出する手法)を使った解析を得意とし、この技術を活かした研究を行いたいと考えました。

研究対象は、検討を重ねた結果、静岡県を代表する農産物の1つである三ヶ日みかんとし、どのような成分が、どのくらいの量含まれているかを調べました。すると注目すべき成分が幾つも見つかり、例えば化粧品分野に使えそうな成分だけでも50成分以上が含まれていることもわかりました。そして、中でも意外かつ衝撃的な発見となったのがGABA含有量です。GABA(Gamma-Amino Butyric Acid)は、緊張やストレスをやわらげ、睡眠の質を高め、血圧を下げるなど、様々な機能を有することが報告されている成分です。元々みかんに多く含まれるグルタミン酸をもとに構成されるため、実験前からある一定量が含まれていることは想定していたものの、それを遥かに凌ぐ量が検出されました。

GABAを多く含む食品は、他にもトマトやホウレンソウ、ケールなどが報告されていますが、毎日十分な量を食べることは難しく、「トマトを必ず1日に2個食べている」という人は少ないでしょう。しかしみかんであれば、1日に1個食べるだけで十分な量のGABAを摂取することが可能です。地元静岡の特産物に、これほど人々の健康に有用性を期待できる食品があることの発見は、大変大きなものです。



温州みかん100mlあたりにおけるGABAの含有量

### 研究 みかんに含まれる化学成分の網羅的調査(論文より一部抜粋)

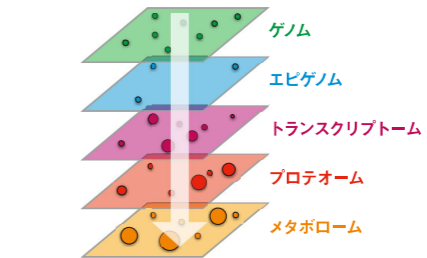
ウンシュウミカンの成分分析では、高水溶性のイオン性低分子を網羅的に探索した研究はほとんど無い。本研究では、静岡県三ヶ日産ウンシュウミカンの「青島温州」や「興津・宮川早生」を対象に、高水溶性成分をキャピラリー電気泳動-質量分析法によるメタボローム解析を用いて調査し、品種・グレード・処理方法ごとの総測定データも蓄積させた。この分析では、対象とした151の成分のうち、早生ではメチオニン・グリシン・アスパラギン酸が、青島ではオルニチン・ブトレシン・シネプリン・グルタミン酸が、青島の果汁ではピログルタミン酸・GABA(γ-アミノ酪酸)・マロン酸が、有意に多く検出された。さらに、生果と加工品、および加工前後での比較結果を統合し、含有成分量の変化に寄与する

その後も実験を繰り返し行い、再現性が認められたため、論文「メタボローム解析による温州ミカン含有イオン性低分子化合物の網羅的測定と比較」(日本食品科学工学会誌2020)にまとめました。

慶應の論文を元に、生産者側が第三者機関に解析を委託した結果でも、機能性表示を届け出るに十分な量のGABAが含まれているという結論に至りました。

現在は、もともと機能性成分として認められていたβ-クリプトキサンチン(骨代謝のはたらきを助けることにより、骨の健康に役立つことが報告されている成分)にGABAを加え、販売促進のステージに移っています。

### より実用的で効率的な検査法を目指す



メタボロームのイメージ

今、私たちはみかんの実を1つ1つメタボローム解析をすることでGABAの含有量を調べていますが、今後はみかんの葉の遺伝子を調べるだけで、その木に成るみかんがGABAを多く作ることができるかを判定可能にするを目指しています。



▲オミックス解析の今後の可能性を語る 慶應義塾大学SFC研究所 AOI・ラボの樽谷特任准教授



▲2015年11月5日、果物では全国初の機能性表示食品として三ヶ日みかんの出荷が始まる。

なぜ遺伝子を調べるかというと、GABAを含むということはGABAを作る酵素があるはず、その酵素にはGABAを作る遺伝子情報があるはず、と今回の結果を巡りながら研究を行っているためです。研究には、生体を構成する分子を網羅的に調べるオミックス解析を用いています。

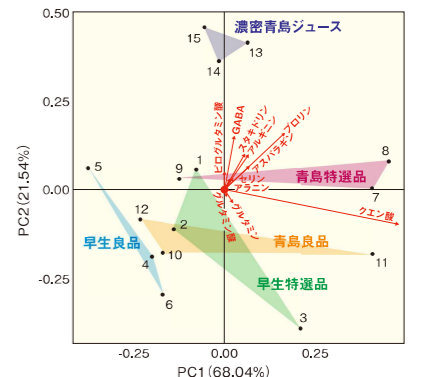
### 今、行われていない挑戦に挑んでいく



▲今後の展望について語る慶應義塾大学環境情報学部 黒田教授

「私も含め、全国には多種多様な科学者がいらっしゃいますが、基本的に科学者というのは自身の興味のある分野しか研究を行っています。今回のプロジェクトで私が持っている技術を実際に人々が喜んでいただける形にすることができたことは、大変嬉しく思います。この要因はAOIプロジェクトでコラボレーションできたことが非常に大きいです。」と話す慶應大黒田教授。AOIプロジェクトのように農業に特化し、研究機関と企業をマッチングさせることで新しい取り組みをしている存在は、日本全国を見渡してもそう多くはありません。さらに、各機関に常駐する研究者がいることも大事なポイントです。気軽なコミュニケーションから新しい研究が生まれる。全く違う分野の研究施設と繋がりをつくりながら進めていくことがAOIプロジェクトの魅力です。

「私がAOIプロジェクトでコラボレーションした成果を、他の方々に知っていただく良い機会になり、自分たちも新たな研究を行ってみたいというムーブメントが生じてくればと思います。」と、黒田教授は今回の結果に確かな手応えを感じています。



▲品種や加工によって含有成分の種類に一定の特徴があることが確認された。(図中の数字は含有成分を示す。)