

## 北宅 善昭センター長 就任挨拶

本年4月1日から植物工場研究センター長を拝命しました北宅善昭（研究推進機構、特認教授）です。よろしくお願いいたします。

人工光型植物工場に特化した我が国最先端の研究開発拠点の一つである本センターでは、当初のC20、C21棟（第1フェーズ）、量産実証評価施設としての22棟（第2フェーズ）に加えて、2019年10月に実証型研究施設として南花田ラボが新設されました。今後、第3フェーズに向けて、情報技術の有効活用による完全自動化や人的資源管理技術開発、多品種や機能性植物など多様な植物栽培技術開発などに積極的に取り組んでいく所存です。

本センターのミッションは、1）産官学民連携による研究・技術開発の推進、2）教育・研修事業による人材育成、3）植物工場に関する普及・啓発活動の推進、4）生産現場の支援からなります。これらミッションのさらなる達成に向けて、コンソーシアム会員の皆様方には、これまで以上にご支援、ご協力を賜りますよう、引き続きよろしくお願いいたします。

以下は、都市圏での人を含む生態系を閉鎖と捉えて、閉鎖系内での物質循環を主軸として、植物機能を最大限に活用できるシステムを構築し、エネルギーや環境問題の解決の一助とする私案です。

近年、多くの産業分野において、環境負荷を少なくするため、廃棄物の発生量を減らしたり、廃棄物を極力リサイクルする、いわゆるゼロエミッションに取り組む企業が増えています。農業分野においても、同様に廃棄物の排出を抑えた資源循環型生産システムの構築が重要な課題となってきています。従来、水田や畑など開放的な場での植物生産では、山林の小草や落葉、家畜やヒトの排泄物などの有機物を取り込んだ広い範囲の循環型生態系が長い年月をかけて構築されてきました。しかし近年の農業生産システムでは、生産性を高めることだけに重点がおかれ、植物生産の場を取り巻く環境への負荷には留意されてきませんでした。その結果として、例えば過剰投与の肥料の流出による河川や湖沼の富栄養化、肥料の地下浸透による地下水汚染、施設栽培における夜間の補光が周辺の動植物の光周性に影響する光害、さらには地下水の過剰な汲み上げによる地下水枯渇、また世界的には不適切な灌漑による土壌の塩類集積、家畜の過放牧

など、不適切な管理による砂漠化などが顕在化しています。これらの問題解決の一助として、特に都市圏における農業では、原材料およびエネルギーの使用効率を高めたり、あるいは生産過程で生じる廃棄物を循環再利用することで、資源の使用量および廃棄物量を極力少なくすることが必須となりつつあります。しかし現状の開放的な場での植物生産システムに物質循環型を導入し、同時に生産性を高めることには、多くの困難が伴います。しかし野菜や花卉のハウス栽培、工場的な植物やキノコの栽培、あるいは施設内での苗生産などの施設型植物生産システムは、従来の畑や水田での植物生産のシステムに比べると、より閉鎖された環境です。特に半閉鎖環境である植物工場においては、物質循環型を導入し易いと考えられます。ここで言う閉鎖とは、物質循環の観点から閉鎖されていることを意味し、エネルギーについては閉鎖されてはいませんが、エネルギーについても極力系外からの入力を少なくする必要があります。

わが国では、農林水産省が先導して、農業地域で顕在化してきている環境、地域資源管理、および地域の社会経済の問題を解決するために、1990年代から環境保全型農業が推進されてきました。また2015年に改正された食料・農業・農村基本法の第36条には、都市及びその周辺における農業の振興の重要性が記載されており、消費地に近い特性を生かし、都市住民の需要に即した農業生産の振興が国策となっています。都市圏農業の役割は、新鮮で安全な地産地消農産物の供給や地域環境の保全を中心に、身近な農業体験を通しての農業理解、食育・環境教育の支援、コミュニティー活動の場の提供、緑地としてのアメニティー空間の提供、防災空間の確保などを含みます。今後、都市圏農業におけるこれらの多様な意義を一層有効活用するためには、その一翼を担う植物工場の在り方が重要となります。

水田や畑での生産に比べて、より多くの初期および維持のコストが必要な植物工場では、低コストの管理で効率的に植物の成長を制御する技術開発が重要課題です。それに加えて、都市圏での人間活動を含む生態系を閉鎖と捉えて、閉鎖系内での物質循環を主軸とした農業生産システムの構築が、植物工場にさらなる付加価値を与え、その社会実装の後押しになることを期待しております。

## 第2回PFCセミナーⅢの概要報告

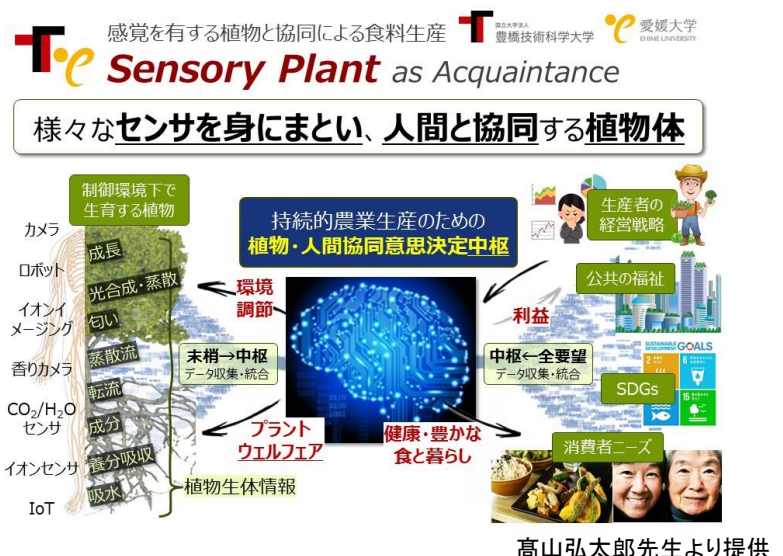
「スピーキング・プラント・アプローチ（以下：SPA）研究の最前線」をテーマに、2021年3月22日午後、リモート形式で開催し、50名を超える受講を頂き盛会であった。我が国でも本テーマに関して最先端の3名の講師の先生方にそれぞれご講演を頂いた後、パネルディスカッションを経て終了した。以下にその概要を報告する。

初めに高山弘太郎先生（豊橋技術科学大学エレクトロニクス先端融合研究所・教授、愛媛大学大学院農学研究科・教授）から「実装型高精度フェノタイピング技術による植物生産の高度化」と題してご講演頂いたが、学術から産業化への貢献に留まらず産業化から学術へのフィードバックがあると、いった先生の基本的なスタンスがまず述べられた。その後の講演は以下のように進められた。まず、本演題の背景として、植物工場の現状と展望が述べられた。多様化する農業の中で、競争する強い農業は大規模化、自動化、スマート化が不可欠で、太陽光型及び人工光型植物工場と呼ばれる生産形態で、高度な環境制御やCO<sub>2</sub>供給による光合成促進・増収が達成でき、今後、企業参入による儲かる農業の展開が必須となると述べられた。次いで、これまでの生産者による経験と感覚からの診断に代わり、センサーの高度化や低廉化とともにAI技術の発達を背景に、光合成蒸散リアルタイムモニタリングによる栽培管理の改善やクロロフィル蛍光画像計測ロボットによる光合成機能診断など、先生が主に開発されたSPAの実証事例を紹介され、実装される高精度生体情報計測技術の有効性が述べられた。特に、つり下げ型ロボットによって低コスト化と高精度のリアルタイムの計測等が可能となり、生産現場への導入が期待されるとされた。最後に、先生が現在取り組んでいるAIを活用した栽培・労務管理の最適化技術開発や農業現場での植物診断の可能性を示す一例として携帯型匂い成分分析装置の活用研究などを紹介し、農業生産の現場で使える生体情報計測技術の可能性とともに科学的農業の実践によって肥料や水資源、熱の投入量の最小化が達成でき、SDGsに貢献できることに加え、総合的な展開としてスマート農業で健康で豊かな食を支えるスマートアグリテック特区を紹介され、講演を締めくくられた。

続いて、和田博史先生（愛媛大学大学院農学研究科・教授）が「オンサイト1細胞代謝産物解析の現状と将来展望」と題してご講演頂いた。まず、SPAの一環として、植物の1細胞の水分状態と代謝産物情報を非破壊でリアルタイムに取得し、植物工場生産システムの最適化を目指すスピーキング・セル・アプローチ（以下：SCA）のコンセプトが解説された。次いで、水稻の高温障害によって発生する白未熟粒を対象と

した研究を通じて生まれたオンサイト1細胞代謝産物解析法の開発に係る経緯が詳しく紹介された。具体的には、温暖化に伴う水稻高温障害によって全国的に白未熟粒が多発しているものの、細胞レベルでの機構解明に至っていなかった中で、白濁前の1胚乳細胞にプレッシャーグローブを刺し、水ストレスの指標である膨圧を計測することによって水ストレス下での浸透圧調節と澱粉集積阻害を介してリング状乳白が形成されることを解明した経緯が紹介された。また、これを契機に、機構解明には高温条件下で成長する玄米胚乳細胞内の代謝変化をリアルタイムに解析することが必要であることに気づいたと述べられた。続いて、この研究成果を契機として、先生らのグループで開発されたプレッシャーグローブ法とオービトラップ質量分析を融合させた1細胞代謝産物分析法について解説された後、ピコリットル・プレッシャーグローブ・エレクトロスプレーイオン化質量分析法（以下：picoPPESI-MS）を用いたトマト毛状突起における応用研究事例とともに、高温下の胚乳の膨圧・代謝変化をリアルタイムに捉えた世界初の試みが紹介された。最後に、SCAを用いた植物工場生産システムの最適化に向けて、picoPPESI-MSの改良と本計測法を基にした生命システムの理解を深め、その未来を予測・制御が可能となるSCAを社会実装させたいといった将来展望を述べて、講演を締めくくられた。

最後に福田弘和先生（大阪府立大学大学院工学研究科・教授）が「体内時計シンギュラリティ制御」と題してご講演頂いた。約24時間の生体リズムの発振である体内時計（概日時計）は、動植物を問わず多くの生理現象に関与しており植物栽培の基礎、あるいは、SPAの基礎であると述べられた。次いで、個々の細胞に備わる体内時計がお互いに脱同調すると個体全体としてのリズムが消失するシンギュラリティといった現象が発生するが、このシンギュラリティが植物の潜在的な生育不安定性を解く鍵として注目されていると述べた。講演ではこのシンギュラリティが生じる条件を明らかにすること



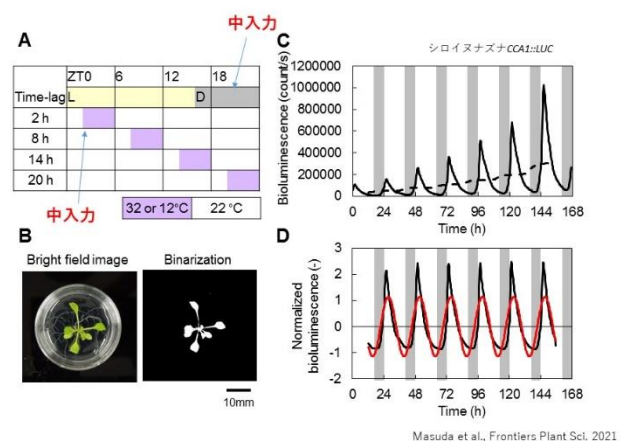
によって、生育不良を引き起こすリスク環境を回避するための方法を紹介するとされた。まず、生物リズムの数理のパイオニアであるDr. A. T. Winfreeが1975年頃に提示した強光刺激による概日リズムの消失といったシンギュラリティ現象を解説した後、不安定点近傍では弱入力によってもシンギュラリティ現象が発生するといった弱入力モデル（結合位相振動子系モデル）を紹介した。次いで、このシンギュラリティ回避の基礎モデルとして、冷却入力や加温入力、ショ糖投与による不安定点の把握方法について解説した後、時計遺伝子の発現量による各刺激に対する応答の高効率計測法の研究事例の一旦が紹介された。最後にその応用例をして、環境や作業に対する様々な弱あるいは中入力によって概日時計に不安定性が発現し、その複雑応答によって生理代謝の不安定性がもたらされる現象を数理モデルとして表すことが可能であると述べ、この数理モデルを用いて、リズムの攪乱をもたらすシンギュラリティ条件の予測が可能となるといった研究事例の一端も紹介された。最後に概日時計モデルの実用性として、様々な環境刺激に利用できる可能性が高いことや栽培ロボットなどの自動化に関係する可能性が高いことを述べ、生産現場におけるICT, AIといった情報学、システム制御に関わる物理学、システム同定・解析に関わる生理学が融合したSPA工学によって生産システムの最適化が可能になるといった将来展望を述べて、講演を締めくくった。

セミナーの最後のセッションとして、3先生方にパネラーとして参加いただき、増田昇（大阪府立大学植物工場研究センター長）をコーディネーターとしてパネルディスカッションが持たれた。まず、パネリスト間、並びに、受講生とパネラーとの間での質疑応答からディスカッションがスタートした。はじめに、福田先生に対して体内時計のシンギュラリティ現象が社会において実用化されている事例について質問され、医療分野では不眠症治療、農業分野では除草剤を散布するタイミングの決定などに応用されていることが紹介された。また、概日リズムの計測法について質問され、CCDカメラを用いてクロロフィル蛍光量を計測する方法や葉の挙動を計測する方法などが紹介された。さらに、光合成のリズムにも概日時

計が関係しているのかといった質問も出され、おそらく影響していると考えられると回答された。次いで、オランダで敷設されているCO<sub>2</sub>パイプラインでのCO<sub>2</sub>の発生源について高山先生に質問が出され、北海の油田に由来すると回答された。その後、我が国でのCO<sub>2</sub>パイプラインの整備の可能性についての質問が出されたが、平坦なオランダの国土環境と急峻な山岳地形を含む我が国の国土環境では大きく異なるものの、我が国では工業地帯から都市近郊部の農業エリアへの供給は可能であろうと回答された。さらに、植物工場ではCO<sub>2</sub>を施用しているが脱炭素社会と矛盾しないかといった質問が出されたが、油田等で空気中に直接放出されているCO<sub>2</sub>を野菜などの食料として一旦固定するものであり、一定矛盾しないのではないかと回答された。和田先生に対しては、オンサイト1細胞代謝産物解析での計測にかかる時間について質問され、計測は数分で終了するものの解析に時間を要すると回答された。また、細胞レベルでの代謝分析が将来的に植物工場での新たな栽培可能な作物の探索や生産システムの最適化に繋がるのかといった質問が出されたが、講演でも紹介したようにステップ・バイ・ステップの歩みによって中長期的には達成可能と考えていると回答された。

最後には、3名の先生方がそれぞれの将来展望を述べられた後、コーディネーターとして、農業も工業と同等に特別扱いするのではなく、独立した一産業として企業の参入や科学技術に基づいた生産や経営が求められること。中でも、本日のテーマでもあったようにSociety5.0を背景としたSPAによる生育状況等の標準化や学術的投資、イノベーションが強く求められること。加えて、高山先生も講演で述べられたように、今世紀の食料危機を回避するためには農業分野での産業化と学術との相互連環が益々求められると述べ、本日のテーマでもあった科学的農業への転換はSDGsの実現にも大きく寄与するものと確信していると述べて、本日のセミナーのまとめとした。（文責：前センター長増田）

## 複合環境サイクルの「タイムラグ」問題



## SPA基礎モデルによる最適化

**当研究室において開発した1細胞代謝産物分析法**  
**ピコリットル・プレッシャー・プローブ・エレクトロスプレーイオン化質量分析法 (picoPPESI-MS)**  
*Picolitre Pressure-Probe-Electrospray-Ionization Mass Spectrometry*

細胞膨圧計測 → 細胞溶液採取 → リアルタイム代謝産物解析

Reprinted with permission from Nakashima et al. Anal. Chem. 2016, 88, 3049-3057. Copyright © 2016, American Chemical Society