

農林水産省
革新的技術開発・緊急展開事業
(うち技術開発・成果普及等推進事業)

事業成果報告書

② 課題背景整理・情報収集活動

平成 31 年 3 月 29 日
国立大学法人 千葉大学
日本型施設園芸産業革新化ネットワーク

目 次

2 課題背景整理・情報収集

2-1 施設園芸生産者の課題・ニーズに関するアンケート調査結果報告書	1
2-1-1 目的	1
2-1-2 調査方法・回収状況	1
2-1-3 調査項目	1
2-1-4 集計・結果	1
2-1-4-1 回答者の属性分布・営農状況	1
2-1-4-2 課題・ニーズ	2
2-2 生産技術の現状整理	5
2-2-1 環境制御	5
2-2-1-1 施設園芸における各種環境制御技術の実証	5
2-2-1-2 施設園芸における種類別自然エネルギー等の活用	5
2-2-1-3 高温期、寒冷期による環境制御技術の確立	5
2-2-2 病害対策	5
2-2-2-1 うどんこ病防除技術の確立	5
2-2-2-2 イチゴの無病苗と生理障害の対策	6
2-2-2-3 化学農薬に頼らない病害対策の確立	6
2-2-3 品種開発	6
2-2-3-1 イチゴの品種開発	6
2-2-3-2 トマトの品種開発	7
2-2-3-3 レタスの品種開発	7
2-3 平成 28 年度の特許出願技術動向調査報告書（概要）施設園芸農業で 指摘された 3 つの事例の検証を基に現状・課題・動向、将来想定に おける技術展望	8
2-3-1-1 事例 1	8
2-3-1-2 現状と将来の時点を想定した技術展望	8
2-3-2-1 事例 2	9
2-3-2-2 現状と将来の時点を想定した技術展望	9
2-3-3-1 事例 3	9
2-3-3-2 現状と将来の時点を想定した技術展望	10
2-3-4 最後に	10

施設園芸生産者の課題・ニーズに関するアンケート調査結果報告書

2-1-1 目的

本調査（アンケート）は、施設園芸生産者・事業者が抱える問題・課題を明らかにし、今後の研究・技術開発及び生産者支援等の参考にすることを目的としている。

2-1-2 調査方法・回収状況

2019年1月31日に埼玉県さいたま市のソニックシティホールで開催された「第9回トマト・キュウリサミット」（全国野菜園芸技術研究会ならびにトマト・キュウリサミット実行委員会共催）において、来場した施設園芸生産者に対して調査票を配布し、その場で記入してもらい回収した。また、2019年2月13日に千葉県柏市の千葉大学環境健康フィールド科学センターで開催された「第128回NPO植物工場勉強会」においても、生産者を対象に同じ内容の調査票を配布し、その場で回答してもらった。

回収数は、トマト・キュウリサミットで62件、植物工場勉強会で8件の合計70件であったが、不完全回答7件を除いた63件を有効回答として集計に用いた。

2-1-3 調査項目

施設園芸生産者・事業者がどのような課題を抱えているかを探るために、「栽培面」、「農地・施設・資金面」、「担い手・雇用面」における悩み・問題点について、それぞれ自由記述形式で尋ねた。また、回答者の営農状況や属性分布を把握するために、性別、年齢、施設の所在地（都道府県）、就業年数、主要生産品目（上位3位まで）、施設・ハウス1棟の規模、棟数についても尋ねた。

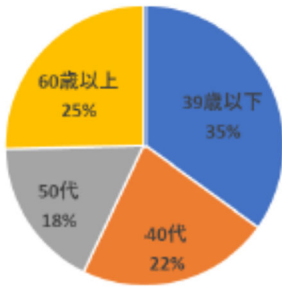
2-1-4 集計・結果

2-1-4-1 回答者の属性分布・営農状況

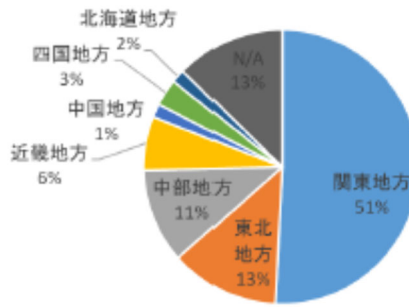
まず、性別については、1名を除いて全て男性であった。次に、年齢分布は第1図に示されている通り、若年層から高齢層まで幅広く分布していた。施設の所在地については、関東地方の県が約半分を占めていたが、アンケートが関東で実施されたにも関わらず、比較的に様々な地域の生産者から回答を得ることができた（第2図）。特に、福島県や岩手県などの東北地方の県や、愛知県や長野県といった中部地方の県が多かった。

生産品目（1位）については、トマト・キュウリサミットの参加者の回答が多かったため、トマトが60%、キュウリが32%となり、2つで全体9割以上を占めた（第3図）。

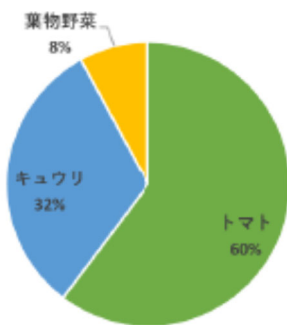
第1図 年齢



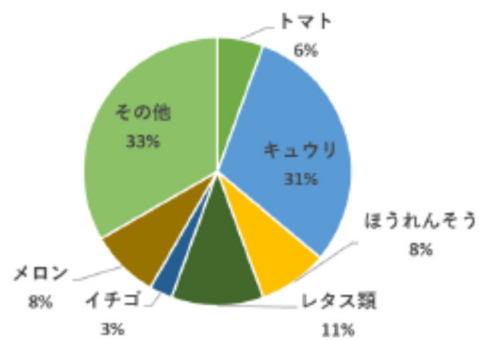
第2図 施設の所在地



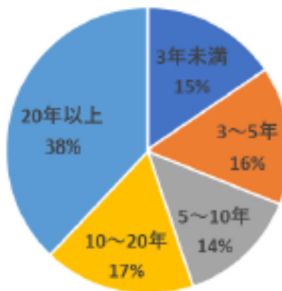
第3図 施設の所在地



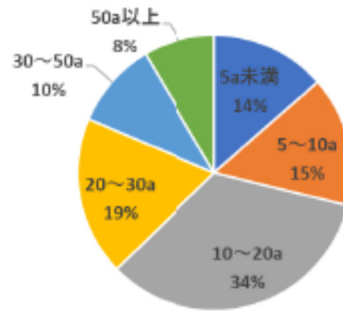
第4図 生産品目 (2位)



第5図 就業年数



第6図 施設・ハウス1棟の規模



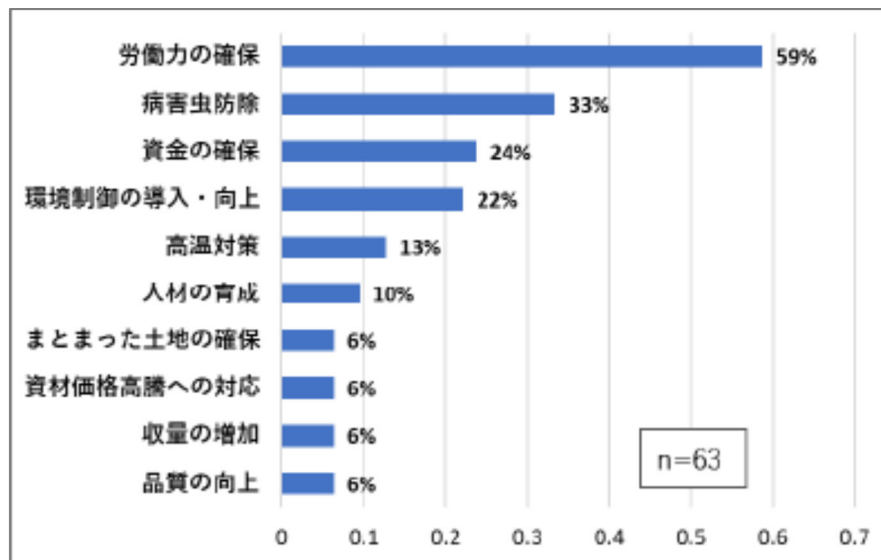
残りは小松菜やレタス類などの葉物野菜であった。また、生産品目 (2位) は、キュウリ (31%) を筆頭に、レタス類やほうれんそう、メロン、イチゴなど様々な作物が挙げられた (第4図)。

就業年数についても年齢分布と同様に、農業初心者からベテランまで幅広く分布しており、特に20年以上の回答者が多かった (第5図)。また、第6図に示されている通り、施設・ハウス1棟の規模は10~20aの回答者が約3分の1を占め、次いで20~30aが約20%、5~10aが15%などとなった。

2-1-4-2 課題・ニーズ

第7図は、調査で得られた自由記述の内容（施設園芸生産者が抱える課題）を分類・集計した結果を示している。

第7図 施設園芸生産者が抱える課題



栽培面で最も多く挙げられた課題は『病害虫防除』であり、次いで『環境制御の導入・向上』、『高温対策』であった。病害虫では、トマトでは黄化葉巻病、灰色かび病、ネコブセンチュウ、サビダニなど、キュウリではうどんこ病、ネコブセンチュウなどによる被害が挙げられた。環境制御に関しては、「培養液管理・調整の仕方がわからない」、「個々のハウスが小さいため、環境制御がしづらい」といった技術的な悩みから、「環境制御の考え方がいろいろあり、何を選択するのが最適かわからない」、「CO₂ 制御の実用的な例がない」、「栽培環境の数値化は良いが、データの活用方法がわからない」といった情報・知識に関するものまで、様々な問題が挙げられた。地域特性や経営状況・規模などを考慮した栽培技術指導や環境制御システムの開発および情報提供が今後ますます求められることになると思われる。

このように、労働力不足や栽培に関する諸問題への対策として、既存の施設の整備や新しいシステムの導入等が求められると考えられるが、後継者がいない生産者や『資金の確保』を課題として挙げた生産者も多く、気軽にまとまった設備投資をするのは難しいかもしれない。資金に関しては、「資金支援が少ない」や「補助金が地域で偏っている」、「栽培の時期と補助金の時期が合わず、補助を受けづらい」、「法人化しなければ、国の助成資金獲得が難しい」といった資金調達に関する悩みや、「価格低迷や労働力不足でお金を稼ぐことができない」、「良い物が増えていく中で、値段が高く手が出せない」といった資金不足に関する悩みが挙げられた。施設・システムの低価格化が求められると同時に、投資シミュレーションやアドバイスに対するニーズも高まると考えられる。例えば、自動収穫ロボットの価格と人件費を比較し、投資シミュレーションを行うサービスを受けることで、生産者はまとまった資金を投入することに対する不安を払拭できるかもしれない。

その他、『まとまった土地の確保』や『資材価格高騰への対応』も課題として挙げられ、僅かながら『消費者ニーズへの対応』に言及する生産者もいた。具体的には、「消費者ニーズがわからないため、どの品種を選んだら良いかわからない」という悩みであった。今後は、「どのようなタイプの消費者がどのような品種を望んでいるのか」といった消費者ニーズに関する情報提供も求められると考えられる。

生産技術の現状整理

2-2-1 【環境制御】

2-2-1-1 施設園芸における各種環境制御技術の実証

担い手の高齢化や新規就農者の不足等、厳しい状況の下で本道農業の競争力を強化していくには、省力化・軽労化や精密化・情報化などの視点から農業技術の革新を図り、ロボット技術や ICT を活用したスマート農業を推進する必要がある。そのためには、環境データの「可視化」を図り、生産者間で情報共有することが重要である。しかし、生育診断技術は確立されておらず、環境データと生育条件との関連は十分に解明されていない。また、環境制御において、オランダの環境制御技術が導入されているが、日本ではオランダと比較して、高温多湿なため病虫害の発生等の問題が生じており、技術の検証と対処技術の開発が必要である。特に湿度（飽差）に関する技術は未解決などところが多く、日本の気象条件に合った湿度管理が重要である。またオランダの温度管理は、基本的に転流促進を目的としているため、温度と転流との関係を解明し、温度管理方法を見直す必要がある。

2-2-1-2 施設園芸における種類別自然エネルギー等の活用

施設園芸の周年栽培は高収益が期待されるが、北海道などの寒冷地では冬季の暖房コストがかかる。また日本海地方は日射不足が問題であるが、それを補うために LED などを用いた補光が行われるが、それに伴い電気費用がかかる。これらのコストの解決策として、地中熱など自然エネルギーが豊富にある地域などや、太陽光発電を有している個人・企業において、暖房や電気コスト削減に向けた自然エネルギー活用手法の確立や当該コストの検証が必要である。

2-2-1-3 高温期、寒冷期による環境制御技術の確立

省エネを目的とした変温管理や局所加温等が行われているが、より効率的・効果的な省エネ栽培技術の開発および加温機器等の利用技術の検討が求められている。夏季の異常高温による生産性および品質の低下が懸念されており、新たな高温対策技術の確立が必要である。また、ヒートポンプの夏季における効率的な利用技術の検討が必要である。具体的には、抑制作型の施設野菜はパイプハウスでの栽培が主であるが、高温による生育不良や品質の低下が問題となっている。遮光やミスト、灌水などによる対策がとられているが、天候の変化の激しい時期に対し、必ずしも変化に応じた処置が行われている訳ではなく、不適切な対応が徒長や品質低下を招く要因となっている場合もある。そこで、パイプハウスでも導入可能な簡易な高温対策を、天候の変化に合わせて自動制御できる技術の開発が望まれる。

2-2-2 【病害対策】

2-2-2-1 うどんこ病防除技術の確立

うどんこ病により正品歩留まりが低下しており、薬剤のローテーション防除を実施しているものの、登録農薬が少なく、うどんこ病の抑制は困難である。このため、硫黄燻蒸の効果検証及び紫外線光源の実用化に向けた技術確立が急務である。具体的な解決策として、紫外線光源

(UV-B) を利用したうどんこ病の抑制効果確認、品質を落とさない照射時間、単位面積当たりの光源量の模索、うどんこ病に効果的なハウス内硫黄濃度調査（硫黄燻蒸）などが挙げられる。また温湯浸漬法は、水稻のための防除技術であるが、イチゴ栽培では、うどんこ病防除に効果がある他、収穫期が早まる効果がある。西洋ナシでは、温湯浸漬法による輪紋病の軽減や追熟促進等の効果があり、園芸生産における温湯浸漬法の新たな活用方法を見出す必要がある。

2-2-2-2 イチゴの無病苗と生理障害の対策

イチゴ栽培においては、イチゴ炭疽病やイチゴ萎黄病等が発生し問題となっている。これまでの診断技術（エタノール診断法、PCR 法等）は、労力や高額な機械を要するため普及に至っていない。そこで、より簡便かつ安価な迅速診断技術の開発が必要である。また、イチゴの奇形果及び死花の問題も挙げられている。これまで超促成栽培の高温条件、ミツバチ交配不良において確認されていたが、近年、それによらず、低温時でも品種によっては確認されている。本生理障害の発生メカニズムには不明な点が多く、発生要因の解明及び防除技術の開発が求められている。また白ろう果は、これまで低温・高湿度条件において発生がみられたが、近年品種によっては 11 月中旬や 3~4 月の暖候期にも発生し、解決策が望まれている。本生理障害の発生メカニズムには不明な点が多く、対策に苦慮している。

2-2-2-3 化学農薬に頼らない病害対策の確立

施設栽培では、ナミハダニの防除が課題であり、天敵カブリダニ製剤は有効である。しかし、害虫および天敵の発生密度の把握が難しく、天敵の追加放飼や薬剤防除時期の判断が難しい。そこで、ハダニ等の微小害虫や天敵を自動的に評価できるシステムを構築し、天敵利用やその他の防除技術の体系化を図る。また、登録薬剤の少ない品目では、農薬抵抗性発達の回避や害虫対策等の体系的な防除対策が必須である。一方、業務用野菜栽培では、生産費の低下と化学農薬の低減が求められることから、農薬に依存しない、効果的かつ実用的な防除技術の開発が急務となっている。具体的な解決策として、①光（波長）を利用した防除、特に UV-B（紫外線 B 波）を利用した実用的な省力・低コスト防除体系の構築、施設栽培で普及している黄色 LED ランプの、露地栽培での応用技術開発と最適使用条件の解明、②生物農薬（天敵等）を利用した防除生態系への影響のより少ない、土着天敵の探索と利用技術の開発や天敵利用に適した栽培環境を備えた施設や既存施設に設置可能な設備の開発、③光や生物農薬（天敵等）を主体とした品目別の体系的防除技術の構築などある。

2-2-3 【品種開発】

2-2-3-1 イチゴの品種開発

日本の高品質なイチゴの輸出を拡大するため、ICT を活用した効率的な輸出体制の確立と、長距離輸送が可能な高硬度、高品質イチゴ品種の育成が求められている。また果実品質において重要な糖度だが、品種間によって糖度の増加の仕方が異なる。輸出拡大のためには、早期収穫しても糖度の高いような品種の開発が必要である。また輸出とは別に、高温下においても収

量が安定して取れる四季成りイチゴの品種開発も重要である。昨今における地球温暖化の影響も向かい風となり、夏季でのイチゴ栽培が困難になってきている。イチゴは年間を通して需要のある品目であるが、夏季はアメリカなどからの輸入に依存している。よって今後は、比較的
に高温下においても、安定して花芽分化し多収性の品種開発が重要である。

2-2-3-2 トマトの品種開発

養液栽培に適したトマト品種と台木の育成及び栽培技術の確立が急務である。トマト栽培の収益性を高めるために、土耕栽培に比べて多収な養液栽培の導入が、若い経営者を中心に増加している。現在の品種は品質的には優れているが、生育特性が養液栽培に最適化されておらず、収量性はファースト系品種に比べて劣っており、養液栽培に最適な品種の育成と栽培技術の確立が求められている。また施設園芸地帯では養液栽培に適した水質の原水の確保が容易ではなく、生育・収量が水質に影響されない台木の育成と栽培技術の確立が求められている。また、トマトの輸出のために緑熟果収穫をする方法があるが、緑熟果までの糖度の増加推移は品種ごとに異なるため、輸出に適したトマト品種の開発が必要である。

2-2-3-3 レタスの品種開発

近年、業務用野菜の需要が増加傾向にあるため、それに適した品種開発が望まれる。例えば、レタスにおいて、株本を切ると大きさの同程度の葉を取ることのできる品種や、カット野菜において切断面が褐変しない品種なども開発されており、今後このような業務用野菜に適した品種開発が必要になってくる。

また人工光型植物工場では、チップバーンが発生することが最重要課題となっているため、チップバーン抵抗性品種の開発が望まれる。

平成 28 年度の特許出願技術動向調査報告書（概要）施設園芸農業で指摘された
3 つの事例の検証を基に現状・課題・動向、将来想定における技術展望

2-3-1-1 【事例 1】

日本の農業生産において重要な位置を占める施設園芸農業を維持・拡大していくべきである。そのためには、非熟練者でも一定の収量を確保できるよう、収量を向上させられる品種、技術体系・栽培技術の開発を行うとともに、作業の省力化・快適化に関わる技術開発を進めるべきである。

2-3-1-2 【現状と将来の時点を想定した技術展望】

まず初めに品種について述べると、養液栽培に適した品種や台木の育成が急務である。施設栽培での収益性を高めるために、土耕栽培に比べて多収な養液栽培の導入が、若い経営者を中心に増加している。現在の品種は品質的には優れているが、生育特性が養液栽培に最適化されておらず、養液栽培に最適な品種の育成が求められている。また施設園芸地帯では養液栽培に適した水質の原水の確保が容易ではなく、生育・収量が水質に影響されない台木の育成と栽培技術の確立が求められている。

続いて技術体系で重要な環境制御について述べると、環境データの「可視化」を図り、生産者間で情報共有することが重要である。しかし、生育診断技術は確立されておらず、環境データと生育条件との関連は十分に解明されていない。また、環境制御において、オランダの環境制御技術が導入されているが、日本ではオランダと比較して、高温多湿なため病虫害の発生等の問題が生じており、技術の検証と対処技術の開発が必要である。特に湿度（飽差）に関する技術は未解決などが多く、日本の気象条件に合った湿度管理が重要である。またオランダの温度管理は、基本的に転流促進を目的としているため、温度と転流との関係を解明し、温度管理方法を見直す必要がある。

また近年、作業の省力化のためにロボットの導入が進められている。特に自動収穫により作業時間の大幅な削減が期待できるが、いくつかの課題もある。特に重要なものとしてアクチュエーターの改善が挙げられる。実際、果実などの収穫物の識別として機械学習などの研究分野は発展しているが、それに対して物理的な運動を行う部分では改善の余地がある。またロボットを導入する上で、更なる安全性確保に向けたルールづくり等の環境整備を進めることが必要である。

次に農林水産・食品産業分野において飛躍的な生産性向上を図るため、AI や IoT、ロボット技術等を活用したスマート農業の進展を図るとともに、スマート農業の効果を最大限に発揮するために農業に関するビッグデータを活用していくことが極めて重要です。またビッグデータの活用を推進しつつ、その知的財産の適切な保護を図るため、データの利用権限に関する契約ガイドラインの策定や、データの不正使用に対応するための法的手法の在り方の検討など、政府全体として検討が進められています。

農業分野についても、データ化された栽培ノウハウ等の価値ある情報について、知的財産としての保護の在り方や利活用のルールが適切に活用されるよう、農業の実態に即したガイドライ

ンの策定が急務である。

最後に、施設園芸農業を維持・拡大していくためには、農業用ハウスの設置コスト低減に向けたビジネスモデルの構築、低コスト化技術の収集・発信等の取組が重要である。日本は積雪や台風などの影響を考慮した施設構造になっているためコストが非常に高い。また構造物が多くなると、日射を遮るため収量の低下にもつながる。よって、今後は構造物が少なく、安価に設置できるような資材やハウス構造の開発が求められる。

2-3-2-1 【事例 2】

オープンイノベーションによるプラットフォーム作りを戦略的に行い、日本が得意とする省エネ、省力化を中心に、品種、育苗、栽培技術も組み合わせ、パッケージとして海外の施設園芸農業市場を開拓すべきである。

2-3-2-2 【現状と将来の時点を想定した技術展望】

プラットフォーム作りとして、実需者ニーズを踏まえた野菜等の周年安定供給に貢献するとともに、所得の向上と地域の雇用創出が見込まれる有望な農業経営部門である施設園芸における生産性向上を図っていくため、高度な環境制御を行い、地域エネルギー等や雇用労働力を活用することにより、高い生産性を実現する次世代施設園芸の取組拡大に向け、次世代施設園芸拠点等で得られた成果等を横断的に取りまとめ、その成果を全国に波及させることが重要である。また次世代施設園芸の全国展開を促進するため、次世代施設園芸の取組等の横断的な情報発信、次世代施設園芸拠点等における栽培データ等の収集・分析を通じた栽培・経営指導、次世代施設園芸に取り組む意向のある産地・農業者向けの手引きの策定、施設・設備仕様の標準化が重要になってくる。

またオープンイノベーションとして、AI 技術を農業での課題解決の手段として用いる事例が増えてきた。具体的には、病害予測や経営モデルの最適化、収量の最大化のための特徴量抽出などに用いられており、今まで農業に関わることのなかった企業が農業分野に参入ようになってきている。今後このような異分野と農業分野を組み合わせ、革新的なビジネスモデル、研究成果および製品開発が期待される。

最後に日本は、寒冷な地域から温暖な地域まで様々環境が存在し、その地域ごとに最適な省エネ、省力化の方法、品種、育苗、栽培技術も組み合わせ、パッケージとしてまとめることで海外に農業市場を拡大することが可能となる。具体的には、北海道での施設園芸技術をパッケージ化できれば、ロシアなどの寒冷地での応用が可能であり、沖縄での施設園芸技術をパッケージ化できれば、東南アジア地域への展開が可能となってくる。

2-3-3-1 【事例 3】

高度な環境制御により露地では得られない特性を有した作物が栽培できるという施設園芸農業の特長をいかして作物の高付加価値化を図り、施設園芸農業市場の更なる拡大を目指すべきである。

2-3-3-2 【現状と将来の時点を想定した技術展望】

施設園芸の中でも、特に生産性の高いのが人工光型植物工場での作物生産であるが、課題点もいくつかある。その中で、最も重要な課題の1つとして人工光型植物工場専用品種の作成が挙げられる。人工光型植物工場では、収量を最大化するような環境設定ができるが、そのような環境下では、しばしばチップバーンという生理障害が発生する。これは、成長速度が極めて早い環境において、カルシウム吸収が間に合わず、新葉が褐変する症状である。この症状により、収量低下はもちろんのこと、チップバーン葉のトリミング作業による可販収量の減少と作業時間の増加により経営的な圧迫につながっている。よって、人工光型植物工場専用品種の作成は、今後の施設園芸市場にとって急務の課題である。そして近年、育種の効率化のために人工光型植物工場でのフェノタイピング技術が注目を集めている。

現在の野菜育種分野の課題として、ゲノム解析や遺伝子マーカー等の技術は進んだが、特定作物、特定形質に限定されていることや、遺伝子情報（Genotype）と表現型（Phenotype）の関係を見出すことが困難なことなどが挙げられる。Phenotype は、作物の Genotype のほか栽培環境にも影響されるために効率的に両者の正確な関係を求めることが困難であるほか、Phenotype は計測・評価自体が人手で行われており、律速要因になっている。そこで、人工型植物工場を用いて環境要因を、任意の値に固定・制御して、Phenotype 情報の効率的取得 Phenotyping が可能になれば、正確で大量なデータセットを効率的に収集可能となり、それらのビックデータマイニングが可能になることにより、育種全体の効率化が期待できる。

また人工光型植物工場での環境制御について、AI の技術を用いことも今後必要になってくる。人工光型植物工場では、閉鎖空間であり環境制御も自由に設定できるが、収量が必ずしも安定するとは限らない。よって生育のリアルタイムモニタリングをするとともに、そこから得られたデータを解析していくことが重要になってくる。具体的には小型 RGB カメラ、小型サーマルカメラ、環境要因計測センサーなどを使用して、播種から収穫までの大量のデータを取得するとともに、AI により生産性向上のための環境設定値の検討をする必要がある。

2-3-4 【最後に】

今後、上記で述べたように農業の各分野で AI の導入が進むとみられるが、ビックデータの解析には農業の専門家を含めて行う必要があると考える。機械学習では、目的変数に対する特徴量を見つけ出すことが可能であるが、その特徴量が妥当かどうかを見誤ると、間違ったモデルの作成に繋がるためである。