

# 次世代農林水産業における技術士の役割

—ゲノム編集, 植物工場, 6次産業化 & 農商工連携—

The Role of Professional Engineer in Next-Generation Agriculture, Forestry and Fisheries  
— Genome Editing, Plant Factory, Sextiary Industrialization & Agricultural-Commercial-Industrial Collaboration —

富田 因則 土屋 和 山下 雄 石田 豊  
Tomita Motonori Tsuchiya Kazuo Yamashita Yu Ishida Yutaka

日本農業は TPP, FTA を始めとする市場のグローバル化の標的となり, かつてない危機に直面している。農業の国際競争力を強化するための効果的な対策として, ゲノム編集による優良品種育成の加速化, 植物工場による制御された大規模生産, 6次産業化による収益・雇用の拡大, 鮮度保持による流通路の拡大, を取り上げ, 技術士の役割を提示する。

Today, the agricultural industry in Japan is facing an unprecedented crisis as prime target of free trade agreements such as the Trans-Pacific Partnership in the age of market globalization. In this article, we propose innovative countermeasures, which strengthen the international competitiveness of domestic agriculture, represented by the accelerated development of elite varieties by genome editing, large-scale controlled production by plant factories, improvement of profits and employment through the sextiary industrialization and expansion of distribution networks by freshness preservation. We then present roles of professional engineers in relation to these areas.

キーワード：グローバル化, TPP, 攻めの農業, 科学技術イノベーション, ゲノム編集, 植物工場, 鮮度保持, 6次産業化

## 1 序論

TPP = 太平洋パートナーシップ協定の大筋合意も束の間に米国トランプ新政権が TPP 離脱を表明し, 逆に日本農業を標的にして二国間交渉に乗り出す動きがある。コメや果物などの農産物, 及びそれらを利用した加工食品の国内生産への影響が懸念され, 例えば, コメの主要品種コシヒカリは, 地球温暖化による減収, 品質劣化のダメージに加えて, 海外産コシヒカリとの価格競争に晒される恐れがあり, 日本農業はかつてない危機に直面している。安倍総理大臣は, 『守る農業』から『攻めの農業』に転換するべく, 科学技術イノベーションによる農業の国際競争力強化をうちだしているが, 農業人口の減少と高齢化が進む状況で攻めに転ずるのは容易ではない。抜本的な対策として, 農産物の優良品種開発, 生産制御, 流通における技術革新と 6次産業化による収益, 雇用の拡大, が挙げられる。これらの課題に対して, 科学技術イノベーションはどのように応え, 技術士の役割はどこにあるのか, 3つの視点「ゲノム

編集」, 「植物工場」, 「6次産業化&農商工連携」から探る。

## 2 次世代シーケンス技術が開くゲノム編集による植物改造

地球温暖化とグローバル化に対抗するスーパーコシヒカリを開発するため, 晩生, 多収に関する遺伝子について, まず, DNA 多型が生じる人工雑種第二世代  $F_2$  の遺伝的分離集団を用いて, 遺伝様式を解明しつつ遺伝学的にマッピングし, さらに, コシヒカリへの連続戻し交雑で当該遺伝子のみ移入したゲノムを作出して, 次世代シーケンサー (NGS) によるリシーケンス解析によって表現型の原因となる DNA の変異を同定する方法を確立した。

次に, ゲノム編集は狙った遺伝子に変異を導入する技術であり, NGS で同定された原因遺伝子にピンポイントに変異を再現すれば, 戻し交雑に依拠せずにスーパーコシヒカリの開発が加速される(表 1)。ゲノム編集には, 部位特異的ヌクレアーゼで標的遺伝子の特異的に二重鎖切断し, 非相同

表 1 ゲノム編集と従来の育種法の比較

交雑…目的遺伝子を持つ品種・系統と原品種との交雑で減数分裂時に対立遺伝子を交換。原品種への戻し交雑を繰り返す個人技と時間を要する。劣性遺伝子はDNAマーカー選抜を併用。安全上の問題がない。交雑可能な植物間における既存遺伝子の利用に限定される。

突然変異…原品種への放射線照射によるDNAの切断、修復ミスで目的遺伝子の変異を誘発。突然変異の方向はランダムで確率が低い。他の遺伝子も傷つける恐れがある。偶然遺伝子が誘発されれば育成は早い。劣性変異はM2世代の展開が必要。その他、新規遺伝子を誘発する可能性がある。

遺伝子組換え…原品種へのアンチセンスまたはRNAiコンストラクトの挿入による目的遺伝子のノックダウン。育成が早い。目的遺伝子のDNA配列がわかっている必要がある。カルタヘナ法批准国ではGMO規制対象。その他、生殖を越えた遺伝子の利用が可能。

ゲノム編集…原品種に、目的遺伝子にピンポイントに変異を誘発する人工ヌクレアーゼ遺伝子を挿入し、変異獲得後は1回の戻し交雑でヌクレアーゼ遺伝子を除去する。育成が早い。目的遺伝子のDNA配列がわかっている必要がある。プロセスベースではGMO規制対象、プロダクトベースでは対象外。オフターゲットの問題がある。

末端連結修復 (NHEJ) 過程で生じる挿入・欠失変異によるフレームシフトで遺伝子をノックアウトする方法、さらに、鋳型 DNA を加えることにより、組換え修復 (HDR) によって外来 DNA をノックインする方法がある。部位特異的ヌクレアーゼとして、タンパク質の DNA 結合ドメインにヌクレアーゼの DNA 切断ドメインを連結させた第 1, 第 2 世代の ZFN, TALEN に対して、ターゲット配列に相補的な低分子 RNA をガイド鎖とする第 3 世代の CRISPR-Cas9 が普及している。

植物におけるゲノム編集では、ヌクレアーゼ遺伝子を植物ゲノムへ組込むプロセスでは遺伝子組換え実験として開始するが、数 bp (base pair, 塩基対) の欠失・挿入変異が誘発されたゲノム編集個体に戻し交雑を行った後、ヌクレアーゼ遺伝子を持たない null segregant を獲得することができる。従って、ゲノム編集で遺伝子をノックアウトした場合、プロダクトベースでは自然突然変異と同等の非組換え生物となり、遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律 (カルタヘナ法) の対象にならない。技術士には、ゲノム編集のパブリックアクセプタ

ンス<sup>1)</sup> のためのアカウントビリティを担うとともに、海外に特許権がある基幹技術に代わり、デリバリーや DNA 改変の効率、オフターゲット低減等に関する国産技術の開発<sup>2)</sup> によってゲノム編集の社会実装化をリードし、農業の国際競争力を増強する役割がある。

### 3 次世代施設園芸における植物工場技術の導入・運用と技術士の役割

大規模施設園芸や植物工場の進展により、野菜を中心とした農作物の生産性や品質の向上が見られ、農林水産省が進める次世代施設園芸においても注目を集めている。そこでは温湿度や CO<sub>2</sub> 等の気象環境や植物体情報にもとづく高度な環境制御技術による栽培を行うと同時に、大規模経営での組織運営や人材育成、資材やエネルギー管理、労務管理や安全衛生管理など多面的な管理も求められる。大規模化が進むほど、これら栽培面と管理面のバランスが問われ、どちらか一方が突出しても効率的な生産体制の構築は難しい<sup>3)</sup>。一方で生産施設の大規模化にとめない、周辺環境や気象条件、目的用途等に適した施設設計、設備設計も複雑化し、様々な設計要素を考慮しながら全体最



写真 1 次世代施設園芸愛知県拠点の外観 (豊橋市)

適をはかる必要がある。次世代施設園芸や植物工場では、以上のような多面的な技術の導入や運用、また実際に現場でオペレーションや経営を行う人材の育成など、農業部門を中心としながらも各部門との連携の中で技術士の果たす役割は数多くある。

国内の農業、施設園芸を取り巻く状況として、高齢化による離農や耕作放棄地・施設の増加の一方で、新規参入の企業やIターン、Uターン者の増加も見られる。新たな担い手として、これらの新規参入者が成功するには、次世代施設園芸や植物工場といった先端の技術を導入するだけでなく、生産と販売の綿密な連携、予測にもとづく計画的な生産、また植物体の生育や環境情報等のモニタリングによる生産管理や作業管理へのフィードバックも重要となる。こうした新しい農業・施設園芸の取り組みに対しては、技術士の総合的な課題解決能力による支援も必要とされよう。

#### 4 技術士視点による農林水産業6次産業化の取組み～課題の捉え方と解決のポイント～

6次産業化とは、農林漁業者（1次産業）が原材料供給者としてだけでなく、加工（2次産業）や流通や販売（3次産業）の経営多角化に挑戦し、農山漁村の雇用確保や所得向上と雇用拡大を目指す取組みである。政府は、2020年には6次産業の市場規模を10兆円に、農林水産物・食品輸出額を1兆円に成長させることを目標としている。全国各地で6次産業化を支援している上で

技術士視点からのポイントがある。6次産業化事業の成功には、生産、加工、販売の1次側、2次側、3次側としての考えの他に経営（ヒト・モノ・カネ）の重要なポイントを加えた4つに分けて考える必要がある（表2）。特に人材面において、生産者または農業生産法人は生産主体だけではなく、加工、販売、経営についての知識も習得する必要がある。生産のことだけ考えていれば良かった農業者から経営者に変わらなければならない。変わる時期はゆっくりではなく、事業計画を進め始めた時点で経営者感覚を持つ必要がある。そのことに気づかないで事業を進めた結果、失敗するケースが多く見受けられる。自分自身が複合型人材に成長するか、または、人材を雇用し育成するか、専門家等（技術士）の人材確保の必要に迫られている。6次産業化事業の推進のため、技術士には専門家の立場として様々な課題に対して自分の個々の領域の得意分野だけではなく、総括した知識の習得、バランスのとれた調整の役割、事業推進力やリーダーシップ等が求められている。

#### 5 近赤外光照射による青果物鮮度保持技術『iRフレッシュ』

青果物の生産や流通において、収穫後の鮮度保持は商品価値に大きく影響する。鮮度保持の手段として冷蔵やフィルム包装が主に用いられてきたが、青果物の流通が多様化する中で新たな鮮度保持技術が求められている<sup>3) 4)</sup>。しかしながら、青果物の栽培や加工に関する研究事例が多いのに比

表2 6次産業化の課題とポイント

生産（1次側）	加工（2次側）	販売流通（3次側）	経営（operation）
営農技術指導 生産技術 / リレー栽培 肥料農業 / 残留農業 GAP / JGAP/GGAP 育種開発 / 品種選定 有機JAS認証 ICT / IoT 植物工場	加工技術 / 粉碎 / 発酵 / 冷凍 / 包装 機械選定 / 能力評価 ISO9001 / 14001 / FSSC22000 HACCP ハラール認証 / 海外有機認証 /	出口の確保 / マーケティング手法 / STP / SWOT 流通技術 / 鮮度保持 / コールドチェーン 輸出 / 規制 / 知的財産 / ビックデータ	人材育成 / 人材教育 農業経営管理 資金調達 事業計画立案 事業運営

べて、鮮度保持に関する研究事例は乏しかった。そこで、製菓会社の研究所での経験と技術士としての視点により、これまでの常識にとらわれない斬新な鮮度保持技術の開発に取り組んだ結果、近赤外光の照射が鮮度保持に有効であることを発見した<sup>5) 6)</sup> (図 1)。これは収穫後の青果物に中心波長 850 nm 付近の近赤外光を一定条件で照射することにより、蒸散による萎れだけでなく、腐りやカビ発生なども抑制できるものであり、本技術を『iR フレッシュ』と命名した。現在、レーザーや発光ダイオード (LED) を光源とした照射装置を開発している。これにより、1 秒以下の照射時間での連続処理が可能となっている<sup>7)</sup>。本技術がこれまでにない青果物鮮度保持技術として様々な場面で実用化されることが期待される。



図 1 ホウレンソウの鮮度保持に及ぼす近赤外光照射の効果 (10℃保管・6日後)  
左：無照射、右：レーザーで 1 回照射

### <引用文献>

- 1) Araki M, Ishii T.: Towards social acceptance of plant breeding by genome editing. Trends Plant Sci. 20:145-149, 2015
- 2) (国研) 科学技術振興機構研究開発戦略センター (CRDS) ライフサイエンス・臨床医学ユニット：調査報告書ゲノム編集技術, CRDS, 2015
- 3) 樽谷隆之, 北川博敏：園芸食品の流通・貯蔵・加工, 養賢堂, 1982
- 4) 中村怜之輔：園芸生産物の流通環境条件に関する生理学的考察, 岡山大学農学部学術報告, 87, 251-264, 1998
- 5) Kozuki A. et al.: Effect of postharvest short-term radiation of near infrared light on transpiration of lettuce leaf, Postharvest Biol. Technol., 108, 78-85, 2015
- 6) 高附亜矢子ら：収穫後の近赤外光照射が数種野菜

類の蒸散, 気孔開度および外観品質に及ぼす影響, 園学研, 15 (2), 197-206, 2016

- 7) 石田豊ら：近赤外光照射による青果物鮮度保持技術「iR フレッシュ」の開発, 四国電力 四国総研研究期報, 104, 19-25, 2016

### <参考文献>

- 8) 土屋和：植物工場の最新動向と今後の展望, 農耕と園芸, 72 (5), 14-19, 誠文堂新光社, 2017

(本稿は、2016年10月15日に開催された生物工学会年次総会講演会を基に、発展的に技術解説として新稿したものである)

#### 富田 因則 (とみた もとのり)

技術士 (生物工学部門)

静岡大学グリーン科学技術研究所  
グリーンバイオ研究部門・教授  
IPEA 国際エンジニア, APEC エンジニア (Bio)  
国際委員, 生物工学会幹事, 博士 (農学)  
e-mail : tomita.motonori@shizuoka.ac.jp



#### 土屋 和 (つちや かずお)

技術士 (農業/総合技術監理部門)

一般社団法人 日本施設園芸協会  
技術部長  
IPEA 国際エンジニア  
APEC エンジニア (Environmental)  
e-mail : kazuo.tsuchiya@biglobe.jp



#### 山下 雄 (やました ゆう)

技術士 (農業部門)

AGURI DESIGN COMPANY (株)  
代表取締役  
IPEA 国際エンジニア, APEC エンジニア (Bio)  
e-mail : jaguar\_yuh@mac.com  
https://aguridesign.amebaownd.com



#### 石田 豊 (いしだ ゆたか)

技術士 (生物工学/総合技術監理部門)

(株) 四国総合研究所  
化学バイオ技術部・部長  
博士 (農学)  
e-mail : yishida@ssken.co.jp

