

SDGs と農作物の品種改良・新技術の 展開に関する考察

境 新 一

1. はじめに

2015年9月の国連サミットにおいて“2030年までの国際的な目標”として、SDGs (Sustainable Development Goals) 「持続可能な開発目標」が採択され、193の加盟国によって合意された。17の目標の中に、それを達成するためのより具体的なターゲットが合計169、設定されている（国際連合広報センター、2018、外務省、2018）。そして、米国を除く11か国によるTPP11（Trans-Pacific Partnership、環太平洋パートナーシップ協定、環太平洋戦略的経済連携協定）が2018年12月に発効した。日本が重視する多国間連携で成果を積み上げることは2国間交渉で自国優位の協定を認めさせようとする米国の保護主義的な動きに対抗するために不可欠である。

こうしたなかで、日本は国産農林水産物のブランド力のさらなる強化などを目標として、ICT・ロボットなどを活用したより精密かつ省力的な生産システムの開発・普及、品種改良（育種）のスピードを飛躍的に高める次世代技術体系の確立に努めている。ゲノム（全遺伝情報）編集技術を農作物の育種に利用する取り組みも注目されるところである。

欧米諸国における農業が土地、自然に対する収奪、搾取として徹底しているのに対して、日本の農業はいかに自然と人が共生、調和して行くか、を重視して運営されてきた。

従来、農業は、科学（サイエンス）、産業構造、ビジネスから検討されることが多かった。しかし、今日、産業構造、ビジネスのみから農業を考え

るには限界がある(境ほか, 2013)。特に, 地域の社会・経済をみると, 地域の高齢化と若年層の農業への就業減少が顕著であり, 彼らにとって将来の夢や生活基盤が確立しなければ科学や技術が進展したとしても, 農業の振興は難しい。将来性, 収益性, そして魅力ある仕事としての農業はどのようにすれば可能になるか。

本稿では諸論をふまえながら, SDGsの実現と農業の関係ならびに農作物に関わる品種改良と新技術の展開について考察することとしたい。

2. 農業を取り巻く環境

2-1 農業の生態系に与える影響

人類が登場して以来, 生態系に与える影響は顕著であり, 生態系は劇的な変化をとげてきた。狩猟採取から農業に移行し, 動物, 植物は人の生存に資するように長い時間をかけて品種改良が進められてきた。その結果, 動物は家畜化され, 植物は栽培化(農産物化)の道をたどった(ダイヤモンドほか, 2017)。

第一に動物の家畜化の例としては, まず, ウシ, ヒツジ, ヤギ, ブタ, ウマ, 次いでアジアラクダ, アラビアラクダ, ラマ, ロバ, ハンテン, ヤク, 水牛, ガウル, トナカイなど主な14種類の動物が家畜化されてきた。家畜化しやすい動物の要件としては, 飼育するのが容易さ, 成長の早さ, 温和な性格, リーダーに従う性質などがあげられ, 上記の動物はこの要件を満たしたために家畜化が進んだものと考えられる。

第二に植物の栽培化の例としては, コムギ(異なる3種類), オオムギ, イネ, トウモロコシなど主な5種類の植物が栽培化された。農業発展には地理的に同質性の高い同じ緯度に沿って農業技術, 品種改良が東西に伝播し, 逆に地理的に異なる経度に沿った南北の地域格差が生じたとされる。農業発展のタイミングとスピードが地域によって大きな相違を伴ったことが文明格差の原因の一つといえる(ダイヤモンドほか, 2017)。

SDGs と農作物の品種改良・新技術の展開に関する考察

品種改良とは、栽培植物や家畜などにおいて、より人間に有用な品種を作り出すことである。具体的な手法としては、人為的な選択、交雑、突然変異を発生させる手法などを用いる。公的な農業試験場や畜産試験場などで進められているほか、穀物メジャーなどに代表される民間企業もビジネスとして参入している。

人間が人為的に育成し、利用する動物や植物は多様であり、動物では家畜、植物では穀物や野菜など、多くのものがあるが、たいいていは野生のものとは大きく形を異にしている。

NBT（新しい育種技術）は、従来の交配や接木などに加えて、分子生物学的な手法を組み合わせた品種改良（育種）技術であり、EU では、調査報告書に代表的な 8 つの技術に分類されている。植物品種の知的財産、知的所有権の保護は、品種保護法（種苗法）あるいは特許法のいずれかによってなされている。日本政府は、総合科学技術・イノベーション会議を司令塔として、「戦略的イノベーション創造プログラム」を推進している。

DNA 中の反復配列を検出する SSR マーカーによる品種識別と親子鑑定は知的財産の運用・保護を強化する上でも重要な手法となろう。

2—2 SDGs と農業の将来

2015 年 9 月の国連サミットにおいて採択・合意された SDGs 達成に向けて、各国政府、企業は貢献していくことが期待されている。SDGs は理念に「誰一人取り残さない (No one will be left behind)」をもち、貧困解決や持続的社会的構築に関わる 17 の目標が設定されている。世界を変えるための 17 の目標としては、以下があげられる（国際連合広報センター、2018、外務省、2018）。

図表2-1 Sustainable Development Goals: SDGs 英語版ロゴマーク



(注) United Nations, 国際連合広報センター SDGs ロゴより掲載。

1. 貧困をなくそう
2. 飢餓をゼロに
3. すべての人々に健康と福祉を
4. 質の高い教育をみんなに
5. ジェンダー平等を実現しよう
6. 安全な水とトイレを世界中に
7. エネルギーをみんなに、そしてクリーンに
8. 働きがいも経済成長も
9. 産業と技術革新の基盤をつくろう
10. 人や国の不平等をなくそう
11. 住み続けられるまちづくりを
12. つくる責任つかう責任
13. 気候変動に具体的な対策を
14. 海の豊かさを守ろう
15. 陸の豊かさも守ろう
16. 平和と公正をすべての人に
17. パートナリシップで目標を達成しよう

国連の開発目標・具体的行動指針には、17のグローバルな目標、169のターゲット(達成基準)ならびに244(重複を除くと232)の評価指標が設定されている。

SDGs には、MDGs（別名ミレニアム開発目標）という旧目標があった。2000年に国連サミットで採択されたMDGsは、SDGsと同様に定められた8つの目標であり、貧困撲滅や初等教育の完全普及など、主に途上国の課題を支援するものであった。2015年までの目標であったMDGsは、世界的な経済成長の影響もあり、一定の成果をあげたが、途上国の問題が解決される過程で、先進国や都市でも貧困などの課題があった。また、環境破壊が進むにつれて、持続的社會の構築も世界的に重要な論点となった。そのため、SDGsは途上国だけでなく先進国も対象にした内容や、環境保全に関わる内容も追加されたものとなった。このSDGsは農業に関しては、「食料供給」、「環境維持」、「雇用創出」などの点で重要な接点をもつ（農林水産省、2018、齋藤、2019）。

そして、米国を除く11か国によるTPP11（Trans-Pacific Partnership、環太平洋パートナーシップ協定、環太平洋戦略的経済連携協定）が2018年12月30日に発効した。日本が重視する多国間連携で成果を積み上げることは2国間交渉で自国優位の協定を認めさせようとする米国の保護主義的な動きに対抗するために不可欠である。またTPP11は中国も国家資本主義の影響が域内で増すことを牽制する戦略性も有する。

一方、EU（ヨーロッパ連合）は日本とのEPA（Economic Partnership Agreement、経済連携協定）を正式に承認した。2019年2月1日にEPAは発効し、巨大な自由貿易圏が誕生する。食糧供給は國家の存立にかかわる重大事であり、農業の成否はその要件となる（日本経済新聞、2018；2019）。

昨今、温暖化の進行に伴う農作物の品質低下や新規病害虫の発生・まん延など生産現場では様々な問題が生じており、これらに対応するための技術対策が必要となっている。また、TPP11の発効を受け、今後、一層進むグローバル競争に対応するためには、農薬使用量の削減などによる生産コストの大幅な縮減や単収の向上による国内農林水産業の国際競争力強化が不可避の状況にある。

こうしたなかで、日本は国産農林水産物のブランド力のさらなる強化などを目標として、ICT・ロボットなどを活用したより精密かつ省力的な生産システムの開発・普及、品種改良(育種)のスピードを飛躍的に高める次世代技術体系の確立に努めている。ゲノム(全遺伝情報)編集技術を農作物の育種に利用する取り組みも注目されるところである(神戸大学, 2016; Keiji Nishida, 2012; 鈴木, 2016)。

3. 工業型農業がもたらす課題とアグロエコロジー

現在私たちは、社会、経済、エネルギー、生態系を脅かす様々な課題に直面している。これらは相互に関連しており、地球環境の悪化に直面している。経済発展は、人口の急激な増加と消費の拡大をもたらした。しかし、それは種の絶滅のスピードも加速した。自然生態系が抱える様々なストレス-森林破壊、土壌浸食、気候変動などは、全てグローバル経済がもたらしたものである。環境問題は、貧困、不平等、飢餓、環境難民(ecological refugees)などの社会経済問題も引き起こしている。そして、農業分野にそれらが集中的に表れている。

農業とは、自然に手を加え、単純化させる行為である。モノカルチャー(Monoculture, 単一栽培)では、生態系の重要な機能を担う生物多様性が欠けているため、農薬や化学肥料などの外部資材(external inputs)や手間のかかる管理が必要になる。工業型モノカルチャーが主導した結果、世界の農作物の大部分は、12種類の穀物と23種の野菜に集約された。

モノカルチャーは、短期的な経済性はあっても、長期的には生態系にとって最適なシステムとは言えず、主要穀物の大半が遺伝的に均質であるため、病害虫(や気候変動)への抵抗力が著しく低く、農薬依存を招いた。しかも、化学農薬は、害虫や雑草が耐性を獲得すると、その効力を失う。そのため、新たな農薬を開発し、使用量を増やすという悪循環に陥る。

メキシコに端を発して各地に広がった緑の革命には、三つの前提条件が

あった。それは安価で豊富なエネルギー、変動のない安定した気候、そして豊かな水資源である。しかし、これらの前提は全て崩れている。

工業型農業は、地球環境に悪影響を及ぼしている。土壌中の炭素レベルを低下させ、二酸化炭素、メタン、一酸化窒素など温室効果ガスの20～30%を排出し、気候変動の大きな要因となっている。その気候変動もまた、生物多様性の喪失や収量低下など様々な影響を農業に及ぼしている。一方、化学肥料に含まれる窒素やリンが河川を通じて海に流出し、その結果、藻が異常発生して、酸素を大量に消費したことが原因である。しかも工業型農業は、世界の人々を飢えから救うという当初の目的を実現していない（ミゲールほか、2017、ラビ、2017）。

工業型農業の課題は、農業システムが少数の多国籍企業の支配下にあることに原因がある。フランスのジャーナリスト、マリー=モニク・ロバン (Marie-Monique Robin) は *The World According to Monsanto* (2012, The New Press, 邦訳『モンサントー世界の農業を支配する遺伝子組み換え企業』, 2015) において、米国の世界最大級のバイオ化学企業、農業の巨人あるモンサント社の世界の農業支配の実態を明らかにした。同社は、世界43か国で、遺伝子組み換え種子の90%のシェアを誇り、これまで、PCB、枯葉剤ほか、史上最悪の公害をくり返し、多くの悲劇を生み出してきた。そして現在、遺伝子組み換え作物によって、世界の農業を支配しようとしている。同社は、政治家と癒着し、政府機関を工作し、科学者に圧力をかけ、農民たちを訴訟で恫喝することによって、健康や環境への悪影響を隠蔽し、世界の農業を支配下に収めてきたのである。本書は、3年にわたる調査によって、未公開資料、科学者・政治家・農民たちの証言をもとに、その驚くべき実態を明らかにした。彼女は、これに先立ち、2008年3月、モンサントを扱うドキュメンタリー『モンサントの不自然な食べもの (Le monde selon Monsanto, The World According to Monsanto)』を Arte とカナダ国立映画制

作庁 (National Film Board of Canada) と共同制作し、同作品はフランスおよびドイツで放映された (ロバン, 2015)。

ロバンは遺伝子組み換え種子の利用と販売促進、ダイオキシン類のポリ塩化ビフェニル (PCBs, 枯葉剤のオレンジ剤, およびウシ成長ホルモンをめぐる多くの議論を報告する。アメリカ合衆国 (アニストン, アラバマ州を含む), カナダ, インド, メキシコ, パラグアイ, イギリスおよびフランスの事例は、企業の政治との癒着途中での指摘, 圧力戦術, 科学的データの抑制と操作, 超法的手法が世界の農業の支配において同社の試みを支援したことを調査で明らかにした。科学者, アメリカ食品医薬品局およびアメリカ環境保護局の代表, 市民社会の代表, 企業活動の犠牲者, 弁護士および政治家がインタビューを受けている。

取り組まれた話題は、アニストン, アラバマの PCB 化学汚染, スコットランドでの遺伝子組み換え作物 (GMOs) の採用上の科学研究の抑制, およびウシ成長ホルモン論争を含んでいる。モンサントが作り出す遺伝子導入の種, 先住者の土地と彼らの植民地化との戦い, 地球規模の食料の安全保障の現実について様々な事例が紹介される。

また、2008年に、市場による投機買いにより、食品に記録的高値がつき、一般市民の手に届かなくなる事態が発生した。同年、カーギル社、ブング社など「穀物メジャー」は、史上最高利益を出した。いわゆる「食糧帝国 (food empire)」は、農家の生産活動から、人々が口にする食物の量や質、価格に至るまで全てを管理した。生産者と消費者は、ともにこのグローバルな食料システムの犠牲者である。この帝国では、現在も生産至上主義である。彼らの目標は、2030年までに食料生産高を倍増させることである。その切り札となるのが、近年普及が進んでいる遺伝子組み換え作物 (genetically engineered/ genetically modified crops) である。企業側は、飢えの撲滅のためには遺伝子組み換え作物は不可欠と主張しているが、それを裏付け

る証拠はない。また、遺伝子組み換え作物は環境問題の解決に貢献していない。農業には、健康被害や環境破壊など、外部性 (externalities) の問題もある。温室効果ガス排出、水質汚染、生物多様性の喪失、土壌浸食、健康被害、その他の外部性にかかるコストを全て考慮した場合、食料生産にかかる実際のコストは高い。

気候変動、社会不安、金融危機などの不確実性がある中で、耕作面積を増やすことなく、また石油、水、窒素などの資源を節約しながら、いかにして持続可能かつ十分な食物の増産を実現できるか。それが今後数十年にわたる、農業に課せられた課題である。農業システムの在り方を見直し、新たなパラダイムへと移行する必要がある。未来の農業システムは、化石燃料に依存せず、環境に優しく、多様な機能を提供し、気候変動などの外的なショックに耐えるものでなければならない。このような農業システムは、レジリエント（気候変動や災害に対する回復力が高いこと）であり、先住民や地域による技術革新を生かした、地域独自の食料システムの基盤となるべきものである（ミゲールほか、2017、ラビ、2017）。

自然生態系は、高い遺伝的多様性と閉鎖的な栄養塩循環を特徴とする。自然生態系には、本来、相互依存性、自己制御性、自己再生性、自己充足性、効率性、多様性などが備わっており、それが強みとなっている。モノカルチャーに移行してしまうと、生態系は単純化され、その強みは失われ、農業と化学肥料に依存するようになる。アグロエコロジーは、自然生態系が持つ本来の力を農業生態系に取り入れ、復元することを目指している。

こうした理解のもとに、世界で現在行われている工業化された農業に対するオルタナティブとして認知され始めている農業や社会のあり方、それを追求する運動であり科学であるのが、アグロエコロジー (Agroecology) である。アグロエコロジーは、科学であると同時に農業の実践であり、社会運動である。それは、科学の知見と農民の伝統知に立脚し、生態学と社

会・経済を扱う諸分野をつなぐ学際的アプローチである。アグロエコロジーの原則を適用すると、生物学的プロセスが促進される。またその原則は、農民同士の交流を通して共有され、農場、コミュニティ、国、地域まで、様々な規模での実践が可能であるとする（ミゲールほか、2017）。

4. 農業と生物多様性

(1) 生物多様性と生態系サービスの意義

「生物多様性条約」によれば、生物多様性とは、「すべての生物の間に違いがあること」と定義している。地球上の生物は40億年の時間を経て、森林、湖沼や川、草原など様々な環境に適応して進化してきた。そして、地域特有の自然や風景、地域の文化と結びつき、それぞれの地域に固有の風土を作り上げてきた。植物、動物、微生物の多様な生物とこれらを取りまく非生物的環境とが相互に作用して一つの動的複合体となった生態系から得られる自然の恵みによって、人間の生命は支えられている。こうした、1つ1つ個性ある生命が相互につながり支えあっていることを生物多様性という（環境省、2008）。生物多様性には、生態系の多様性、種の多様性、遺伝子の多様性の3つのレベルの多様性が含まれる。

(1) 生態系の多様性：地球上には、熱帯から極地、沿岸、海洋域から山岳地域まで様々な環境があり、生態系は各地域の環境に応じて歴史的に形成された。干潟、サンゴ礁、森林、湿原、河川等の自然環境や市街地、農耕地等、様々なタイプの生態系がある。

(2) 種の多様性：鳥、魚、昆虫、植物、菌類・バクテリア等、いろいろな種類の生物が存在する。世界には、既に知られている生物だけでも約175万種あるとされる。日本の場合、南北に長く複雑な地形を持ち、湿潤で豊富な降水量と四季の変化があることから生物の種類が多いと考えられ、すでに知られている生物は約9万種、まだ知られていない生物を含めると約30万種超が存在すると推定される。

- (3) 遺伝子の多様性：同じ種類の動物や植物でも、観察するとそれぞれに微妙な違いがある。地球上の生物は、様々な変化する自然環境の中で、その変化に応じて進化を繰り返し、途絶えることなく生命の営みをつないできた。それを可能にしたものが遺伝子の多様性である。遺伝子の多様性は、種が環境に適応して生きのびる上で、または人間が生物の品種改良を行う上で、非常に重要になる。例えば黒毛和牛の場合、全国和牛登録協会と協力して、多様な雄牛の遺伝子の採取・保存を進めている。
- このように、人間が、文化的で豊かな生活を享受し、安心・安全に暮らしていくためには、生物多様性は不可欠である。そして日常生活は自然の恵みによって支えられている。この自然の恵みを生態系サービスという。以下がその内容である。

供給サービス：食料、繊維、燃料、生化学物質、遺伝資源、淡水

調整サービス：洪水調節、病害虫抑制、花粉媒介、種子散布、土壤浸食抑制、水の浄化、気候・疾病調節

文化的サービス：精神的・宗教的価値、知識体系、教育・インスピレーション、レクリエーション・美的価値

基盤サービス：一次生産、栄養塩循環、生息域の提供、酸素の生成、水循環

ただ、今日、生物多様性は急速に減少している。生息域の損失、気候変動、資源の乱開発など、人間が変化を引き起こす要因に原因がある。

(2) 農業における生物多様性

農業における生物多様性は、食料と農業に関連した生物多様性の構成要素すべてを含み、農業を行う生態系（農業生態系）を支えている。農業における生物多様性には、作物および家畜の種、各種内の品種や、農業生産を支えるすべての構成要素が含まれている。生態系サービスを支える種レベルの構成要素には、有機物の分解や腐敗を通じて植物栄養素を利用可能

にし、循環させるミミズや菌類などがある(環境省, 2008)。

太古から、植物の栽培や動物の家畜化が行われて以来、文明は多様な野生種を利用し、農業のために景観や環境を変えてきた。農業システムや関連した景観を持続可能な方法で管理し、これらの資源を次世代も利用し続けられるようにすることは、常に課題となっていた。直接的あるいは間接的に変化をもたらす要因に直面している現在、農業者や農業生産者が自発性を発揮して持続可能な農業を導入するためにも、政策立案者や消費者は、自らの役割を果たさなければならない。また、食料選択がもたらす結果を教育することは、正しい方向に向かう重要なステップとなる。

5. 農業における動的平衡の意義

動的平衡(dynamic equilibrium)とは、サイエンスにおいて、互いに逆向きの過程が同じ速度で進行することにより、系全体としては時間変化せず平衡に達している状態を言う。可逆反応で、正反応と逆反応の速度が同じ場合には動的平衡となり、反応系を構成する各物質の濃度は変化しない。これらの例を構成する互いに反対の「流れ」は、一般にそのままでは観測することができない。ただし対象によっては分子を個別または定量的に見る方法で観測が可能である。一般には系を平衡からわずかにずらして、平衡に戻る過程を観察すれば流れとして観測できる。

生物体については、全体は部分の総和以上のもので部分は全体から誘導されるが、その逆は不可能である。生物の生命力展開には多くの平衡系が共存し、相互に密接な関連をもちながら全体として発展力を維持している。これらの平衡系は動的平衡系なのである。平衡系があるということは生体内に相反する方向の作用をもつ変動が存在することを意味する。生物自身はその生命力展開の過程で無数の矛盾要素をもつことによって初めてその展開ができる。つまり生物は多くの矛盾する要素の存在の中で初めて健全な生を営みうると考えられる(岡本, 1979)。

生命の多様性を保全する最も重要な視点はこの動的平衡の考え方である。動的平衡においては、要素の結びつきの数が夥しくあり、相互依存적でありながら相互補完的である。それゆえ消長、交換、変化を同時多発的に受け入れることが可能となり、大きくバランスを失うことがない。地球環境という動的平衡を保持するためにこそ、生物多様性が必要なのである。

生命が「動的分子の平衡状態」にあることを、最初に実験により示したのは、ユダヤ人科学者ルドルフ・シェーンハイマー (Rudolph Schoenheimer, 1898-1941) である。普通の餌で育てられた実験用の成熟ネズミに3日間、重窒素(窒素の同位体)で標識されたロイシンというアミノ酸を含む餌が与えられた。成熟ネズミはそれ以上大きくなる必要はないので、餌は生命維持のためのエネルギー源となって燃やされ、重窒素はすべて尿中出现すると予想されたが、結果は鮮やかに裏切っていた。尿および糞中に排泄されたのは投与量の29.6%だけで、重窒素の半分以上の56.5%が身体を構成するタンパク質の中に取り込まれていた。取り込み場所は、あらゆる部位に分散されていたが、特に取り込み率が高いのは腸壁、腎臓、脾臓、肝臓などの臓器、血清(血液中のタンパク質)であった。このことは、重窒素アミノ酸が与えられると瞬く間に、アミノ酸より下位の分子レベルに分断され、改めて多数のアミノ酸が一から紡ぎ合わされて新たにタンパク質が組み上げられていることを意味する。外から来た重窒素アミノ酸は分解されつつ再構成されて、ネズミの身体の中をまさにくまなく通り過ぎていっているのである。ここにあるのは、流れそのものでしかない。入れ替わっているのはタンパク質だけではない。貯蔵物と考えられていた体脂肪でさえもダイナミックな「流れ」の中にあつた。シェーンハイマーは、この実験をもとに「身体構成成分の動的な状態」とよんだ。シェーンハイマーの「動的分子の平衡状態」という概念をさらに拡張して、動的平衡という言葉を導入すると、生命は「動的平衡にある流れである。」と再定義される(福岡, 2007; 2017; 2018)。

平衡の概念は、言い換えると調和ということであり、折合（折れ合い、折り合い）をつけること、限界の認識がその前提となる。農業技術について、将来性はあるものの限界の認識は必要であり、研究成果を見直すことが重要である。農業は生物的特性をもつ、すなわち生物そのものに極めて似ている。ただ、人間の営みである農業自身にも多くの矛盾要素がある。自然の維持と破壊は農業の場で共存せざるをえない。採取という人間の目的行動は、自然への干渉、破壊を必然的に内包している。従って、農業は当初から自然の改変なしには成立しないし、農業は自然の生命力展開を基盤として成立しているため、自然の存在と維持なしには成立しえない（岡本, 1979）。

6. STEM, STEAM / 科学技術開発に関わる教育モデルと実践

農業に限らず、グローバルな技術開発、新産業分野、未来社会のあらゆる局面において次代を担う若者をいかに教育し、人材を育成するか、という社会的課題がある。こうした背景のもとで、早くも 1990 年代に米国国立科学財団 (NSF) から新たな教育モデルとして STEM が提唱された。STEM とは、“Science, Technology, Engineering and Mathematics” すなわち科学・技術・工学・数学を指し、今後必要となる科学技術開発に関して当該分野が初等教育・義務教育から高等教育までの教育政策や学校カリキュラムにおいて重視されるとしている。2003 年より *Journal of STEM Education* も刊行されるに至っている (Gonzalez and Kuenzi, 2012)。STEM はさらに art 芸術分野の要素を加えた、STEAM (Science, Technology, Engineering and Art) に展開している。

いずれにせよ、STEM, STEAM は科学技術の理解を深め、それらを利用して新たなものを生み出す力を養う教育として注目を集めている (Feldman, 2015)。日本の文部科学省も、報告書において「文章や情報を正確に読み解き、対話する力、科学的に思考、吟味し活用する力、価値を見

つけ出す感性と力、好奇心・探求力」を養成する上で STEAM 教育の重要性を述べている（文部科学省，2018）。

7. 日本農業の在り方

農林水産省のデータによると、日本の農業従事者人口は減少し続けている。しかし、近年、新規就農者の数、特に若者が増加傾向にある。若者が参入することにより生じる環境の変化には、(1) スマート農業の普及 (2) 植物工場の展開 (3) 通勤型農業 (4) 政府・自治体の新規就農者に対する支援制度 である（カクイチ，2018a；2018b）。

まず、「スマート農業」では、情報通信技術やロボットを使い、生産コストを下げるができる。これにより人手不足を補うことができ、技術を使って生産管理をデータ化できれば、今まで農業に触れなかった若者たちも容易に農業に取り組める。

次に、近年発展が期待される「植物工場」も、手間なく農作物を育てることができるため、「土を耕す」「雑草を取る」などの作業そのものがなくなるかもしれない。「植物工場」の発展は若者と農業を近づけることになる。

第三に、「通勤型農業」は多種多様なライフスタイルを支える。平日は市街地から農場へ「通勤」し、休日は自宅で過ごすというスタイルである。本格的な農業従事者ではないものの、休日だけ契約している農場へ足を運ぶ「週末農業」という形が注目されることから、普及していくのではないか。

最後に、政府・自治体による地方創生策の推進と新規就農者に対する手厚い支援制度である。支援事業を活用することにより、最低限の資金で就農できる機会ができ、給料が発生する研修制度や住まいの提供などを用意している自治体もある。雇用就農者の利点は、安定した収入や福利厚生制度が備えられている。一般企業並みの雇用条件や社会保険を整える求人も

多く、従来の農業従事者の働き方は変化しつつある。また、現在では「副業解禁」が普及しはじめ、収入の全てを農業に特化せずに、「半農」と呼ばれる半分を農業、半分を他の職業で稼ぐのである(西, 2018)。

上記の動きを背景として日本の農業の在り方は次のような諸点に留意をする必要がある(境ほか, 2013)。

①生活者を満たす農業

農業が農産業として継続・成長して行くためには、単なる「農」ではなく産業としての農産業の確立が必要不可欠である。そのためには、適正利潤の確保が必要であり、すべての利害関係者(ステークホルダー)の満足度を高める必要がある。これらを実現させることにより、農産業を次世代へと継承し、日本の食文化を守り、食の安全・安心(安全な供給・食品の安全性)を確立し、生活者に食の豊かさを提供する。

②農から農産業への変革

個々の農民から農業経営者へと変革する仕組みを構築することが重要である。そのためには、安定収益が確保でき、成長が得られる産業にしていかなければならない。生産・加工・流通・販売・消費をバランス良くコーディネートし、農作物が生活者に届くまでを企画提案することが農産業の役割である。ビジネスとして魅力ある農産業の確立が求められる。

③農業の産業化とイノベーション

農業を他の産業と同様に位置づけ、産業としての農業の発展を目指し実践する。農産業イノベーションが必要となる

④農業の構造改革

生産から消費までを農業の使命として捉え、担当(管轄)領域及び責任

範囲を広げる。

⑤新たな農作物流通

従来の限られた流通形態だけでなく、農業の流通革命時代に適した農業者と生活者が様々な流通チャンネルを形成・選択できる仕組みを構築する。

⑥農産業の研究

農業に情熱を傾け、農産業を通して新しい価値創造を行わなければならない。そのためには、進んでリスクと向かい合い、競争しながら前進し続けていく、型にはまらない企業でありたい。持続可能な農産業を実現し、生活者を豊かにすることを実現するために、また、生活者の心と満足を得る農産業を継続させるために、役割を果たさなければならない。そのためには、社会に貢献すること、ならびに事業としての継続性が重要である。農業を人文、社会、自然の科学分野の総合的な視点から多様に研究していく必要がある。

⑦再生可能エネルギーの農業への活用

自然環境の中で繰り返し起こる現象を利用して持続的に利用が可能な非枯渇性のエネルギー源を再生可能エネルギー (renewable energy) という。化石エネルギーに対し、太陽光、太陽熱、水力、風力、バイオマス、地熱、波力、温度差などを指し、自然エネルギーともいう。これを発電に利用すると、太陽光発電、太陽熱発電、太陽熱利用、パッシブソーラー、バイオマス発電・廃棄物発電、バイオマス熱利用・廃棄物熱利用、バイオマス燃料・廃棄物燃料製造、風力発電、水力発電、地熱発電、地熱利用、雪氷、温度差エネルギー、海洋温度差発電、波力発電、潮汐発電、潮流発電となる。

特に、太陽光電池とは、光を電気信号に変換する光電素子を利用し、太陽光が当たったとき発生する電力をエネルギー源として使用できる電池を指す。

モジュール(パネル)に照射された光のエネルギーは直流電気であり、これを家庭用電化製品に使えるようにインバータ(パワーコンディショナ)によって交流電気に変換する。また、バッテリー(蓄電池)によって、昼に太陽光発電によって創られた電気をためて置き、夜に使用することができ、住宅の独立型システムが可能となる。

⑧感動を与える農業

農業がアートと共創して、五感、地域、物語創造、デザイン、プロデュースの視点と関連して論じることが重要となる。そして、日本の農業に今後新たな動きが出てくると考えられる。

- (a) 地域性(中山間地、平地、都市)にあわせた高度農業の確立
- (b) 積極的な農業への投資、農業機能のグローバル化
- (c) IT、IoT、AI、再生可能エネルギーを活かした小規模・総合産業としての高度アグリ・ベンチャー
- (d) 五感を基礎としたサイエンス(science 科学)とアート(arts 技術・芸術・表現方法などの総体)の融合に関わる農業での展開、農作物の新たなブランディング
- (e) 科学と芸術の融合による価値創造
- (f) 世界における食料の再分配とわが国の主導的立場の確立
- (g) 知的財産の適正な運用・保護

⑨若者の定住

地方創生政策によってその地域に来た若者たちが、開発した事業を地域の人たちに強引に横取りされ、結局若者がその地に根をおろす、定住する

ことがない。「新規参入者」を育て、農業就業人口の一部とするためには、彼らの自立を支援する必要がある。若者が参入することによって生じる「環境の変化」に対応できなければ、離農する若者が増えてしまう。

8. 農作物に関わる品種改良の新技術と検証

8-1 農作物に関する知的財産の運用・保護

長い時間をかけて開発した品種や栽培技術、生産地と密着したブランド名などは日本の農業が持つ強みである。しかし、農業分野では一般産業と比べて知的財産の保護が甘く、アジア地域では模倣品が横行している。政府と農業関係者は、品種などが大切な知的財産であることを認識し、国内の管理体制を厳格にするとともに、TPP11の合意を契機に海外での保護を急ぐべきである。

数年来、消費者の人気を集めるブドウの品種に国内で開発された「シャインマスカット」がある。糖度が高く皮ごと食べられることが魅力で、店頭では一房千円以上の値札が付くことが多い。農林水産省によれば、そのシャインマスカットが中国に持ち込まれ生産されているという。過去にもイチゴの国産品種の生産が韓国で急増した例がある。政府は農林水産物の輸出額を2020年に1兆円まで増やす目標を掲げ、1年前倒しでの達成をめざす。しかし、日本の有力品種が次々と海外で生産されている現状は大きな問題である（産経新聞、2016）。

知的財産を海外で守るためには、日本の品種や地理的表示を各国で登録する必要がある。保護制度が不十分な国に対しては、政府が整備を働きかけなければならない。

当該は正策を進めるうえで、TPPは強い支援になる。TPPは締結国に対し、植物の新品種を保護する1991年UPOV（ユポフ）条約への加盟を義務付けた（後述）。地理的表示を他国で保護してもらうための手続きでも合意できた。模倣品をTPP加盟国の市場から閉め出せば、非加盟国にも圧

力をかけられる。知的財産を保護しながら自由貿易を推進する TPP は、農業の輸出と収益の拡大に向けて欠かせない枠組みといえる。

生産者の意識を変えることも重要である。一般企業と同じく、自らの競争力のよりどころを考え、それを守る経営感覚が求められる。

8-2 技術と品種改良の役割

既に述べたように、技術（テクノロジー）とは、サイエンスによって発見された理論を実践・実用化するために設計・分析されて発明された方法・手段である。技術の目的は人間の行う諸活動に関する作業を効率化することにある。特に農業に関しては、技能を含めて技術と表現することとしたい。南石晃明らによれば、農業には「感覚」「運動」「作業判断」「作業計画」「経営管理」という性格の異なる技術がある。一方、人間が技術に対して及ぼす基本能力として、「状況理解」「予測」「最適化」の3つがある。その結果、農業技術を教育・伝承するための要件としては、知識としての技術・ノウハウの学習、そして上記能力を向上させるための訓練・経験があげられる（南石・藤井，2015）。

そして品種改良（育種）とは、栽培植物や家畜などにおいて、より人間に有用な品種を作り出すことである。具体的な手法としては、人為的な選択、交雑、突然変異を発生させる手法などを用いる。公的な農業試験場や畜産試験場などで進められているほか、穀物メジャーなどに代表される民間企業もビジネスとして参入している。

人間が人為的に育成し、利用する動物や植物は多様であり、動物では家畜、植物では穀物や野菜など、多くのものがあるが、野生のものとは形を異にしている。これは、一般に家畜化といわれる変化でもあるが、人間がその育成の過程で、無自覚に品種改良を行なってきたからでもある。家畜でも栽培植物でも、その歴史は数千年にわたるといわれる。その間に、より人間に有利な特徴のあるものを選び、それを優先して育ててきたと思わ

れる。コムギについては、数種の前種の間を生じた雑種であることが確認されており、その間に偶然に生じた雑種を、特に選んで育てた経過があった（小泉，2015a；2015b；2015c）。

近年、当該過程は意識されるようになり、目的を持った品種改良が行なわれるようになった。そのための基礎知識としてメンデルの法則に代表される遺伝の法則が追究された。

基本的な方法は、有利な形質をもつ個体を選択し、それを繁殖させる。時に出現する突然変異は、有力な対象であり得る。また、有利な形質をもつ個体や種間での交配もよく行なわれる。これらの方法は、前史に置いては無自覚、かつ偶然に行なわれたが、次第に意識して行なわれるようになったものと思われる。

有利な形質を持つものの子を選んで育成するのは、品種改良の基本であり、人為選択とも言われる過程である。結果として、より優れた遺伝子を持つ子を得ることになる。これを繰り返してゆけば、その段階で存在する個体の中の最も優れた性質を合わせ持つ個体が得られる。

現存の範囲を超えて優れた性質は突然変異によって出現するかも知れず、それまでの世代になかった形質の子が表れた場合、これが期待できる。突然変異はめったに起きないことになっているが、飼育下では自然条件に比べて生存競争が激しくないため、変わり者を拾い出すことはたやすく、また、それが別の面では性質の弱いものであっても保護することが可能である。

8—2—1 植物・動物の品種改良

(1) 植物

食料の場合、収穫量や耐病性・食味などの性質を向上させる目的で品種改良が行われる。イネ、ムギ、トウモロコシ等の穀物や、イモ類などで盛んに品種改良が進められている。その他、望まれる特性としては、耐寒性、

耐暑性(温暖化対策)、耐虫性、減肥や多肥(窒素過多)での栽培、密植可能、矮性等があげられる(鵜飼・大澤, 2010; 2013)。

(2) 動物

家畜の場合、競走能力の向上、肉質などの性質を向上させる目的で品種改良が進められている(正田, 2010)。例えばサラブレッドの場合、原種の一つであるアラブ種と比較し、走力が大幅に強化されている。品種改良は初期にはイギリスで、後には世界各地で合計300年以上をかけ行われ、現在も競馬を通じて品種改良が続けられている。

ペットの場合、外見や性格などの性質を向上させる目的で品種改良が行われる。イヌ、ネコなどで盛んに品種改良が進められている。生物的防除を目的とした生物農薬に用いる昆虫類なども品種改良の対象となることがある。

8-2-2 果樹の品種改良

日本人が食用に供している主な果樹の品種構成の変遷・改良について、我が国果樹農業が国民の食生活の高度化多様化というニーズの変化や貯蔵・流通設備技術の進歩に対応し発展してきた。1960(昭和36)年、農業基本法が制定され、農業生産面においては選択的拡大が目指され、果樹生産の拡大が期待されている状況であった。品質による差別化製品市場のモデル分析を研究テーマの一つとしている。企業行動の分析に当たって、製品を市場に供給する企業は、2つのステージにおいて意思決定することが仮定される。第1ステージは供給する製品の内容・品質をどうするか、第2ステージは製品の価格をどのようにするかという意味決定である。研究開発や製品ライン等の設備投資を要し、企業にとって生死を制する意思決定は第1ステージである。農業生産にとっても何を作るかという第1ステージが重要であることは変わらない。工業製品やサービスは、費用はかかるも

の比較的時間をかけずに製品の内容・品質の変更は可能であり、企業の負担で研究開発が行われる。しかし、農業生産物に関する時間、費用を考えれば、個々の生産者で製品の内容・品質の変更に当たる品種改良や新品種の創出は困難である。このため、政策として、国、都道府県の研究機関が主導的に役割を担い、生産者にその成果を開放し、生産者は開発費用リスクを負うことなく利用できるようにしている。

生物的特性から、イネ、肉用牛、果樹それぞれの分野において技術開発もそれぞれ特徴がある。

イネと違って、果樹は、品種改良・創出に当たって、近代的な育種技術だけでなく、現在でもなお突然変異や民間育種によって生まれるケースがある。明治時代のイネの有力な品種は突然変異したものを民間の篤農家が普及させたものであったが、大正時代になると普及した品種はすべて近代的な育種技術で改良・創出された。果樹は、糖度、外観、食感等品質の要素が誰でも理解でき、突然変異等を見つけやすいことに要因があるのではないかと考えられる。試験研究における国の役割がイネに比べ大きい。最近の話題となるイネの新しい品種（つや姫、ゆめぴりか等）の開発は、ほぼ全県の研究機関で開発されたものである。しかし、果樹研究は、成果が出るまで時間がかかり、効率が低いため、そのコストを負担できる都道府県は限られることから、国の研究機関に課されている期待は大きい（正田、2010）。

8—3 NBT の役割と課題

(a) 品種改良の新技術

生物が親から受け継いだ遺伝情報は、DNA と呼ばれる物質に4つの文字で書物のように記録されている。ある生物が持つすべての遺伝情報をゲノム (genome) という。現在、様々な生物でゲノムが明らかにされ重要な遺伝子が特定され、その働き方などが調べられている。近年、これらの情

報を利用する「ゲノム育種」という手法が開発されたことにより、品種改良が飛躍的に進展している（農林水産技術会議，2016，境，2019）。しかし、一方、まだ技術開発段階の農作物も少なくないのが現状である（江面・西尾，2014）。

従来は、育種に手間がかかっていたのに対して、ゲノム育種では、小さいうちに「病気に強い」遺伝子を持つものを選べるため、効率よく病気に強い品種の開発ができる。また、狙った性質の遺伝子のみが変わったものを選べるため、優れた特徴を持つ品種に、新たな性質を追加することも可能である。

従来、多くの情報を含むゲノムの解析には時間が必要であった。しかし、新たな分析機器が開発され、コンピューターの性能が向上し、これまで働きが分からなかった遺伝子が特定され、多くの遺伝子が関わる複雑な性質の改良にも取り組めるようになった。農作物のゲノムが品種改良に直結する時代になったといえる。

新しい育種技術 (new plant breeding techniques: NBT) とは、従来の交配や接木などに加えて、分子生物学的な手法を組み合わせた品種改良 (育種) 技術の総称である。

育種は、すでにある品種同士を交配させ、よいところ取りをするイメージをいただく。実際には、それ以外に交配に利用できる素材となる作物を“資源”として収集・保存・管理すること、細胞培養や放射線などを利用して新たな変異を持った作物をつくること、さらに交配の親に利用すること、できた新しい品種を広く配布するための種子を増殖することなど、様々な工程があり、常に新しい技術開発がなされてきた。

新しい育種技術の利用について、世界で最初に議論を始めた欧州連合 (EU) では、調査報告書に代表的な技術を8つのカテゴリーに分類して記載している。具体的には次の通りである（白井，2015）。

(1) 人工制限酵素を利用したゲノム編集

- (2) オリゴヌクレオチド指定突然変異導入技術
- (3) シスジェネシスとイントラジェネシス
- (4) RNA 依存性 DNA メチル化
- (5) 接ぎ木による新しい遺伝子組換え技術の開発
- (6) 逆育種
- (7) アグロフィルトレーション
- (8) 合成生物

ゲノム（全遺伝子情報）編集も NBT の技術のひとつである。この技術は家畜や魚の品種改良や医療分野でも使われるが、ここでは植物の品種改良を中心に考えることとしたい。NBT は遺伝子組換え技術を使うものの、実際の作物や食品には導入した遺伝子が残らないか、残っていてもわずかで自然におこる変異と見分けがつかず、開発者が申告しなければ分からないという特徴をもつ。

2013 年 9 月に筑波大学遺伝子実験センターの研究者らが刊行した書籍、ならびに、2014 年 8 月に発表された日本学術会議の報告書にも言及されている。学術会議の報告書で今後、品種改良の手段として期待が高いのは、上記のなかで、人工制限酵素を利用したゲノム編集、オリゴヌクレオチド指定突然変異導入技術、シスジェネシスとイントラジェネシス、組換え台木の接ぎ木、RNA 依存性 DNA メチル化の 5 つといわれている（大澤・江面、2014）。

このうち、人工制限酵素（ゲノム編集）では、DNA 切断酵素（人工ヌクレアーゼ）を使い、標的部分の遺伝子を切り取ったり、置き換えて変異を誘導したりして、植物の形質を変える。特に、CRISPR-Cas9 (clustered regularly interspaced short palindromic repeats / CRISPR associated proteins) の場合、DNA2 本鎖を切断 (Double Strand Breaks = DSBs) してゲノム配列の任意の場所を削除、置換、挿入することができる新しい遺伝子改変技術である。こ

の技術は、カスタム化(標的遺伝子の変更や複数遺伝子のターゲット)が容易であることから、現在、ヒトやマウスといった哺乳類細胞ばかりではなく、細菌、寄生物をはじめ膨大な種類の細胞や生物種において、そのゲノム編集または修正に急速に利用されている(コスモ・バイオ, 2018)。

なお、植物品種の知的財産、知的所有権の保護は、品種保護法あるいは特許法のいずれかによってなされている。先進国の多くは、「植物の新品種の保護に関する国際条約(ユポフ条約)」(International Union of Protection of New Varieties of Plant: UPOV)にも加盟している。UPOVでは、次の点が強調されている。(1) 育種家が保護品種を自由に品種改良に使うことができる除外事項は、自動的に適用されないこと、(2) 育成品種の起源となった品種の使用許諾の必要性(品種の保護)、(3) 農家の自家増殖の規制。一方、国際連合食糧農業機関(FAO)は食用および農業用植物遺伝子資源委員会において、締約国の間で、できるだけ柔軟な品種の利用及び種苗の増殖を認めることにより、発展途上国、特に、貧困の著しい国々の農家の種苗増殖による農業の継続性を計るよう努力している。それでも、WTOがからむ交渉において品種の権利関係や種苗の増殖も関係してきており、複数の国際条約や取り決めが影響してきている。今後は、これらの間での整合性の調整が必要となってきている。

現在、国際的には、品種保護法(日本では種苗法)が品種保護の目的で適用されているケースが大部分を占める。この場合、育成者の保護が主体になり使用許諾料等の要素は産業所有権法に比べて弱い。日本でも、種苗法において15-25年間の品種保護がなされ、イネ、ジャガイモ、サツマイモ等においては品種登録後5年間の海外持ち出し規制等で行政指導がなされている。一方、これら品種を材料にして従来(交配育種)を行った場合は、新品種についての知的所有権は新品種の育成者に帰属し、親品種に至らないのがこれまでの慣例である。ただし、組換え体品種の台頭により、親品種の権利保護が強化されてきている(渡邊, 2000)。

(b) 内閣府戦略的イノベーション創造プログラムにおける研究開発の推進

日本政府は、総合科学技術・イノベーション会議を司令塔として、国内産業の競争力強化に必要な重要課題を選定し、それら課題の解決に資する研究開発を府省・分野横断的に重点的に進めるため、「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP、平成26～30年度）」を推進している（鈴木、2016）。

農林水産分野においても、このSIPの枠組みのなかでICT・ロボット技術の応用や植物工場などの高度環境制御技術の開発、次世代機能性食品の開発など次世代の農林水産業・食品を創造するための画期的な新技術の開発に取り組んでおり、ゲノム編集技術などを活用した新たな育種技術体系の確立もその一つとして推し進めている。

具体的には、以下4つのグループにおいて体系的な研究成果の獲得と研究で得られた新たな知見や技術を、実態経営や実態経済の中に活かし、社会に便益をもたらすこと（社会実装）を目指す。

- ①ゲノム編集技術など最先端技術の知的財産が米国などに握られ、今後の産業利用の制約条件となる懸念から、新たな育種法を開発するグループ
- ②新規遺伝子を単離し、育種リソースの充実に取り組むグループ
- ③実際にゲノム編集技術を利用して画期的な新品種を開発するグループ
- ④それら研究成果の社会実装に必要な条件整備に取り組むグループ

8—4 SSR マーカーによる品種識別

(1) マイクロサテライト

染色体（DNA）はA（アデニン）、G（グアニン）、C（シトシン）、T（チミン）の4種類の塩基の連なりからなる。検証したいDNA領域で所定の方法により一塩基ずつ合成をストップさせた断片を作成し、DNAシーケンサーで解析する。DNAシーケンサーは、名前の通り、DNA Sequence（DNA塩基配列、順番）を読み取る装置である。毛细管（キャピラリー、capillary）などのゲル中でDNA断片を移動させ、サイズの小さい断片から

順番に読み取る。DNA 試料はシーケンサー内の毛細管に充填された化合物(ポリマー)の中を電氣的負荷により移動して、レーザー検出器のある部分に到達した順に、DNA を標識している蛍光色素により読み取られていく。DNA 断片はサイズが小さいほど速く移動するため、サイズの違いを検出できる。塩基配列が波形として目に見える形になり、塩基ごとに異なる蛍光色素で標識しているため、4色の波形が表れ、DNAの塩基配列が対応する色の波形の並ぶ順番に反映されることになる。

1組のDNA(ゲノム)上に存在する反復配列で、2~数塩基を1単位とした配列が複数回繰り返されている領域をマイクロサテライトと呼ぶ。Short Tandem Repeat (STR) あるいは Short Sequence Repeat (SSR) と表されることもある。この反復領域では変異が起こりやすく、繰り返しの回数が生物の品種ごとあるいは個体ごとに異なるという、生物学上非常に狭い範囲であるにも拘らずDNAレベルでの違いが見られるケースが生ずる。このような、品種間や個体間で差異(多型)を得ることができる領域をマーカーと呼ぶが、複数のSSRマーカーを組み合わせることにより、DNA識別の範囲や精度を上げることが可能となる。

(2) SSRマーカーによる分析

DNAシーケンサーでできることは塩基配列の読み取りだけでなく、生物の種の分類も可能である。DNA断片のサイズの違い(多型)から生物の種を分類するSSR(Simple Sequence Repeat)というマーカーによる分析手法がある。SSR法はフラグメント解析の1つで、マイクロサテライトを利用したDNAによる品種識別方法を指す。

フラグメント解析とは、ある2塩基繰り返しのSSR領域があるとき、繰り返し回数が100回であれば、その長さは200塩基になる。繰り返し回数が101回であれば202塩基になる。繰り返し回数の違いが、全体の長さの違いになって現れるため、断片の大きさを測ることにより区別を行うこ

とができる方法である。

マーカーを複数組み合わせると波形（SSR マーカーによる波形）パターンが不一致の程度が大きくなれば、別の品種である可能性が高くなる。2 検体間で比較を行い、波形パターンが一致すれば、検体が同一個体であると判定する。

現在の主要栽培品種とは異なる系統の育成や栽培は、新たな付加価値を持つ商品を生み出す可能性が期待される。近年、遺伝情報を利用した解析技術が急速に進歩している。

育種においては、個体の早期（幼苗）選抜を行うために SSR を含む DNA マーカーの利用が重要な技術となっている。DNA マーカーは、広い意味では、ゲノム育種に含まれる技術である。国の果樹茶業研究部門、各都道府県の公設試では、オリジナル品種開発に効果的に DNA マーカーを取り入れようとしており、技術開発と実用化に取り組んでいる。

現在、DNA マーカーは多数作られており、品種判別や親品種の同定等に利用されている。DNA マーカーには様々な種類があるが、DNA 中の反復配列を検出する SSR マーカーが、再現性の面や情報量の観点から広く活用されている（境, 2019）。

SSR 法を利用している検査には、(1) 畜産物・魚介類 DNA 識別検査 (2) 農作物品種識別検査 がある（ビューローベリタスジャパン, 2018）。

9. おわりに

人類が登場して以来、生態系に与える影響は顕著であり、生態系は劇的な変化をとげてきた。動物、植物は人の生存に資するように長い時間をかけて品種改良が進められてきた。その結果、動物は家畜化され、植物は栽培化の道をたどった。そして今日、SDGs の採択・合意によって、世界は経済、社会、環境のバランスをもった目標実現を目指している。それは自ずと農業の今後の展望と密接にかかわることになる。

TPP11の発効を受け、今後、一層進むグローバル競争に対応するためには、農薬使用量の削減などによる生産コストの大幅な縮減や単収の向上による国内農林水産業の国際競争力強化が不可避の状況にある。

こうしたなかで、日本は国産農林水産物のブランド力のさらなる強化などを目標として、ICT・ロボットなどを活用したより精密かつ省力的な生産システムの開発・普及、品種改良(育種)のスピードを飛躍的に高める次世代技術体系の確立に努めている。ゲノム(全遺伝情報)編集技術を農作物の育種に利用する取り組みも注目されるところである。

品種改良とは、栽培植物や家畜などにおいて、より人間に有用な品種を作り出すことである。具体的な手法としては、人為的な選択、交雑、突然変異を発生させる手法などを用いる。公的な農業試験場や畜産試験場などで進められているほか、穀物メジャーなどに代表される民間企業もビジネスとして参入している。

人間が人為的に育成し、利用する動物や植物は多様であり、動物では家畜、植物では穀物や野菜など、多くのものがあるが、たいていは野生のものとは大きく形を異にしている。

NBTは、従来の交配や接木などに加えて、分子生物学的な手法を組み合わせた品種改良(育種)技術であり、EUでは、調査報告書に代表的な8つの技術に分類されている。植物品種の知的財産、知的所有権の保護は、品種保護法(種苗法)あるいは特許法のいずれかによってなされている。日本政府は、総合科学技術・イノベーション会議を司令塔として、「戦略的イノベーション創造プログラム」を推進している。DNA中の反復配列を検出するSSRマーカーによる品種識別と親子鑑定は知的財産の運用・保護を強化する上でも重要な手法となろう。

品種改良が飛躍的に進展している一方で、まだ技術開発段階の農作物も少なくないのが現状である。残すところ10年余りの期間でSDGsの実現は容易ではなからう。しかし、目標をたて世界が連携すること自体に、一

歩でも事態が好転する可能性に期待したい。

(謝辞) 本稿においては、特に品種改良の新技術と検証について、(地方独立行政法人) 青森県産業技術センター・りんご研究所(黒石市)の栽培部長・福田 典明 氏ならびに品種開発部長・初山 慶道 氏に貴重な示唆を受けました。ここに厚く御礼申し上げます。

[注]

鵜飼保雄, 大澤良編(2010)『品種改良の世界史・作物編』悠書館。

同編(2013)『品種改良の日本史―作物と日本人の歴史物語』悠書館。

江面浩・西尾剛(2014)「特集記事 シンポジウム報告 NBT (New Plant Breeding Techniques) の現状と未来への展望」『育種学研究』16: 125-130。

大澤良・江面浩(2013)『新しい植物育種技術を理解しよう』国際文献社。

岡本正夫(1979)「農業の認識と農学研究の立場」『西日本畜産学会報』7月, 22巻, 9-12頁。

カクイチ(2018a)「若者に農業への興味を持ってもらうために注意しなければならないこと」(株)カクイチ Web サイト 2018 7 16

<https://www.kaku-ichi.co.jp/media/human/talent-shortage/population-decrease>

(最新参照 2019年6月)。

カクイチ(2018b)「農業への転職が増えている?! 若者が農業を選ぶ理由」(株)カクイチ Web サイト 2018 11 22

<https://www.kaku-ichi.co.jp/media/human/talent-shortage/reasons-for-choosing-agriculture>

(最新参照 2019年6月)。

環境省(2008)「生物多様性と農業 生物多様性の保護と世界の食料の確保」5月。

熊代克己, 鈴木鐵男(1994)『新版図集 果樹栽培の基礎』農文協。

小泉光久(2015a)『農業の発明発見物語 1 米の物語』大月書店。

同, 吉岡博人(監修)(2015b)『農業の発明発見物語 3 果物の物語』大月書店。

- 同, 大同久明(監修)(2015c)『農業の発明発見物語4 食肉の物語』大月書店。
- 神戸大学(2016):「DNAを切らずに書き換える新たなゲノム編集技術「Target AID」の開発に成功」web, 2016年,
http://www.kobe-u.ac.jp/NEWS/research/2016_08_05_01.html (最新参照 2012年3月)。
- コスモ・バイオ(株)(2018) Webサイト「特集:CRISPR-Cas9とは」。
- 境 新一・齋藤保男・加藤寛昭・白井真美・丸幸弘(2013):『アグリ・ベンチャー 新たな農業をプロデュースする』中央経済社。
- 境 新一(2019)「農産物に関わる地域ブランドと品種改良の現状と課題—育種の新技術をふまえて—」『成城大学経済研究』第224号, 89-128頁。
- 『日本経済新聞』(2018):12月31日付。
- 『同』(2019):2月1日付。
- 『産経新聞』(2016)7月12日付。
- 正田陽一編(2010)『品種改良の世界史・家畜編』悠書館。
- 白井洋一(2015)「NBT 新育種技術って何? 組換え技術を使うけど組換えじゃない?」『農と食の周辺情報』3月18日。
- 鈴木富男(2016):「育種革命をもたらすゲノム編集技術」『化学と生物』(公)日本農芸化学会 54巻9号:, 687-690頁。
- ジャレド・ダイヤモンド, レベッカ・ステフォフ(2017), 秋山 勝訳『若い読者のための第三のチンパンジー』(草思社文庫)。
- 西 雄大(2018)「夢追う若者が注目する「半農」という働き方」2018年1月10日,
『日経ビジネス』
<https://business.nikkei.com/atcl/opinion/15/221102/010500552/?P=2> (最新参照 2019年6月)。
- 『日本経済新聞』(2019)1月1日付。
- 農林水産技術会議「品種改良を加速する「ゲノム育種」 農林水産技術会議事務局研究

SDGs と農作物の品種改良・新技術の展開に関する考察

調整課 (2016) 「「ゲノム育種ってなに？」 遺伝情報を使った育種研究最前線」『全国農業新聞』1月29日付。

ビューローベリタスジャパン(株) (2018) 食品検査事業部 Web サイト「SSR マーカー」。

福岡伸一 (2017) 『新版 動的平衡 生命はなぜそこに宿るのか』小学館。

福岡伸一 (2018) 『新版 動的平衡2 生命は自由になれるのか』小学館。

福岡伸一 (2007) 『生物と無生物のあいだ』講談社現代新書。

ミゲール・A. アルティエリ, クララ・I. ニコールズ, G. クレア・ウェストウッド, リム・リーチン (2017), 柴垣明子訳「アグロエコロジー基本概念・原則および実践」大学共同利用法人人間文化研究機構総合地球環境学研究所(「地域に根ざした小規模経済活動と長期的持続可能性」プロジェクト, 羽生淳子, 真貝理香, 竹原麻里, 小林優子, 小鹿由加里) 2017年3月24日。

南石晃明・藤井吉隆編著 (2015) 『農業新時代の技術・技能伝承—ICTによる営農可視化と人材育成—』農林統計出版。

ピエール・ラビ (2017), 天羽みどり訳『希望を蒔く人: アグロエコロジーへの誘い』コモンズ。

マリー=モニク・ロバン (2015), 戸田清 (監修), 村澤真保呂訳, 『モンサント—世界の農業を支配する遺伝子組み換え企業』作品社。

渡邊和男 (2000) 「植物品種改良に関する知的所有権について」Mem. Research Inst. B.O.S.T, Kinki University No.5:41~43。

Marie-Monique Robin (2012) The World According to Monsanto, The New Press。

[インタビュー]

(地方独立行政法人) 青森県産業技術センター・りんご研究所

栽培部長・福田 典明 氏, 品種開発部長・初山 慶道 氏 (2019年9月, 10月)

[参考資料・URL]

外務省「持続可能な開発のための2030アジェンダ」(PDF)(最新参照, 2019年6月)。

同「SDGs取組事例 企業一覧」, 同「ジャパンSDGsアワード」。

SDGs取組事例 企業一覧/ジャパンSDGsアワード

<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/case/org1.html> (最新参照, 2019年6月)。

国際連合広報センター「持続可能な開発目標(SDGs)報告2018」(最新参照, 2019年6月)。

<https://www.un.org/development/desa/publications/the-sustainable-development-goals-report-2018.html>

<https://unstats.un.org/sdgs/report/2018/>

齋藤 祐介「SDGsとはなにか/SDGsと農業の関わり/SDGsに関して私たちができること」2019.4

https://agri.mynavi.jp/2019_04_11_66836/#toc-2 (最新参照, 2019年6月)。

農林水産省「SDGsとは?」(最新参照, 2019年6月)。

同「農林水産省におけるSDGsの取り組み」, 同「農林業センサス」2017年

https://www.kansai.meti.go.jp/2kokusai/ryoujikan/2018forum/2018nouseiMAFF_J.pdf

2015年農林業センサス報告書

第1巻 都道府県別統計書(全47冊)。

<http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2015/dai1kan.html>

第2巻 農林業経営体調査報告書 — 総括編 —。

<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500209&tstat=000001032920&cycle=7&year=20150&month=0&tclass1=000001077437&tclass2=000001077396&tclass3=000001085297>

SDGs と農作物の品種改良・新技術の展開に関する考察

文部科学省 (2018) 「Society5.0 に向けた人材育成 ～社会が変わる, 学びが変わる～」 (2018 年 6 月)

http://www.mext.go.jp/b_menu/activity/detail/2018/20180605.htm

同・報告書概要

http://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/_icsFiles/afieldfile/2018/06/06/1405844_001.pdf (最新参照 2019 年 9 月)

Feldman, Anna (2015), Why We Need to Put the Arts Into STEM Education (Jun 16, 2015)

Web サイト

<https://slate.com/technology/2015/06/steam-vs-stem-why-we-need-to-put-the-arts-in-to-stem-education.html> (最新参照 2019 年 9 月)

Gonzalez, H. B. and J. J. Kuenzi (2012), CRS Report for Congress Prepared for Members and Committees of Congress Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: A Primer (2012-Aug-1),。 (最新参照 2019 年 9 月)

Keiji Nishida, Takayuki Arazoe, Nozomu Yachie, Satomi Banno, Mika Kakimoto, Mayura Tabata, Masao Mochizuki, Aya Miyabe, Michihiro Araki, Kiyotaka Y. Hara, Zenpei Shimatani and Akihiko Kondo

“Targeted nucleotide editing using hybrid prokaryotic and vertebrate adaptive immune systems” Structured Abstract

<https://science.sciencemag.org/content/353/6305/aaf8729> (最新参照 2019 年 9 月)。