

報告

日本における農業資源の潜在力を
顕在化するために生産農学が果たすべき役割



令和2年（2020年）9月1日

日 本 学 術 会 議

農学委員会

農学分科会

この報告は、日本学術会議農学委員会農学分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議農学委員会農学分科会

委員長	大杉 立	(連携会員)	東京農業大学客員教授
副委員長	位田 晴久	(連携会員)	宮崎大学名誉教授
幹 事	片岡 圭子	(連携会員)	愛媛大学大学院農学研究科教授
幹 事	下野 裕之	(連携会員)	岩手大学農学部教授
	犬伏 和之	(連携会員)	千葉大学園芸学研究科教授
	江面 浩	(連携会員)	筑波大学生命環境系教授・つくば機能植物イノベーション研究センター長
	久保 康隆	(連携会員)	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	生源寺 眞一	(連携会員)	福島大学食農学類長
	土井 元章	(連携会員)	京都大学大学院農学研究科教授
	夏秋 啓子	(連携会員)	東京農業大学副学長
	丸山 幸夫	(連携会員)	筑波大学名誉教授
	山岸 順子	(連携会員)	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
	吉田 薫	(連携会員)	東京大学大学院農学生命科学研究科教授

本提言の作成にあたり、以下の方々に御協力いただいた。

野口 伸	(連携会員)	北海道大学大学院農学研究院教授
丸田 洋		株式会社穂海および有限会社穂海農耕 代表取締役

本提言の作成にあたり、以下の職員が事務を担当した。

事務局	高橋 雅之	参事官（審議第一担当）
	酒井 謙治	参事官（審議第一担当）付参事官補佐
	原澤 千春	参事官（審議第一担当）付審議専門職

要 旨

1 作成の背景

日本の農業は高齢化、担い手不足などが進む一方、スマート農業、ゲノム育種などの新技術により新たな農業の可能性も示されている。また、気候変動による農業生産の一層の不安定化が指摘され、国連も持続可能な開発目標 (SDGs) ⁽¹⁾ を掲げ各国に取組を求めている。

このような状況のもとで、農学委員会農学分科会は主に土地利用型農業に関する日本の農業資源の現状とその潜在力を顕在化させるために生産農学が取り組むべき研究開発および SDGs の達成への貢献について議論し、その結果を取りまとめ公表することとした。

2 現状および問題点

日本の食料・農業を概観してみると、日本の食料消費の量と構成が大きく変化したが、そこには食品産業の寄与が大きく、農業経営も食品産業への拡大(六次産業化)や食品産業との直接取引が増大している。また、農業技術の面では、情報通信技術 (ICT) を組み込んだ機械や設備が登場している。社会経済の変化への技術革新の対応は、ICT を活用した機械・設備や定年退職者の就労増による高齢者の労働力などの潤沢な資源を活用し、いまなお自然生態系の特色を保持している森林や湖沼などの貴重な資源の開発利用を抑制することが基本となる。

また、潤沢な資源と貴重な資源をどのように組合わせていくかに関して、例えば農林水産省は食料自給力を数年以上の長期の視点からの供給力として公表している。これに対して、食料自給力を1年以内での供給力という視点から独自に試算してみると、一人一日あたりの供給熱量はその年の生存に必要な基準熱量より 200 kcal 以上不足することになり、私たちの生命を支える農業生産の基盤の持続可能性について議論が必要である。

近未来の農業を考える場合、農業それ自体の生産性向上と環境負荷の低減のトレードオフに向き合うことが避けられず、その解決には、まず、二つの目的間のトレードオフの関係性を物的・数量的に把握し、社会的評価を加えること、次に、二つの目的を同時に達成できる技術的可能性を広げることが重要である。このように、近未来の農業は二兎を追って二兎を得ることが必要で、新たな技術体系のもとでバランス良く達成することが求められている。

新たに注目されている技術はゲノム編集育種とスマート農業である。ゲノム編集技術は狙った遺伝子をピンポイントで編集する技術であり、育種の高速化に繋がる。アメリカでは本技術で育成された高オレイン酸ダイズの食用油が販売されている。一方、日本では本技術に対する国民の理解は十分ではなく、安全性などに関する情報発信が重要である。また、農業担い手不足、農産物の高品質化・生産コスト削減のために、IT やロボット技術などを活用した農業のスマート化が必要である。2014 年度から5か年間進められた内閣府戦略的イノベーション創造プログラムで実施されたスマート農業研究では、ロボットトラクター、ビッグデータを活用した営農支援システムなど多くの成果が得られた。現在、主に生産条件好適地で確立されたスマート農業技術を生産条件の不利地域に適合させることで、地域農業の活性化に繋がる取組も行っている。

このような新たな農業技術は実際の農業現場でも大きく期待されている。新潟県の(有)穂海農耕は15名で145 haの水田において業務用米を生産している。全員非農家からの新

規就農者であり、平均年齢は約 32 歳である。今後も農地の集約は進むと予想しており、圃場の大規模化、ロボット・ドローンの導入などが必要になり、また、栽培時期を分散するためにもゲノム編集育種による多様な品種開発が求められると考えている。

3 報告の内容（生産農学の取り組むべき主な研究開発）

このような日本の農業および農業技術の現状と SDGs への貢献も含めて今後の期待に応えるために、生産農学に含まれる各学問分野として取り組むべき研究と技術開発を以下のように進めていく考えである。

(1) 作物学（SDGs 目標 2、13、17 への貢献）

- ① 大規模水田農業に資するため、直播適性を備えた高品質・良食味品種を用いて各地域で安定多収が得られる直播栽培技術を開発する。
- ② 畑地化した水田における畑作物の耐湿性向上のための作物栽培および土壌管理の技術を開発し、水田輪作体系における畑作物の生産拡大に繋げる。
- ③ 中山間地域の小規模農地での高収益作物の栽培技術の開発、ドローン利用などによる作業の効率化などを進める。

(2) 園芸学（SDGs 目標 2、3、7、9、11、13、17 への貢献）

- ① 施設園芸においては、二酸化炭素排出削減の観点から水素やバイオマス、太陽光などの自然再生エネルギーの活用技術などの開発を行うとともに、地域の特性やニーズに適合した施設栽培用品種の育成を行う。
- ② 露地園芸においては、ロボットの活用技術開発、作業性に優れた園地整備のデザインなどを行う。更に、資源投入を抑制し、持続可能なシステムとしての再構築をめざす。
- ③ 流通時の品質低下によるロスやコストを減らすフードチェーンシステムの確立を図る。

(3) 土壌科学（SDGs 目標 2、13、15 への貢献）

- ① 作物の生産性に関わる土壌資源の潜在力の更なる開発のため、土壌成分の微細存在状態および土壌微生物による植物養分などの形態変換機能などの解明を行う。
- ② 温室効果ガスの発生抑制のための無駄のない施肥管理に向けて、田畑一筆ごとの地力など土壌資源の潜在力を示す精密土壌図の作成と効率的活用や気候変動にも対応したきめ細かい施肥管理の普及を図る。

(4) 育種学（SDGs の目標 2、3、9、13、15 への貢献）

- ① 全ゲノム情報を活用した迅速な有用遺伝子の同定や DNA マーカーの開発、およびゲノム編集技術などの育種技術の高度化により育種の効率化を実現する。
- ② AI や IoT を用いた先端的形質評価技術を導入することにより、気候変動に対応したストレス耐性の向上や SDGs に適う生産性の高い省資源投入型品種開発に繋げる。

(5) 植物病理学（SDGs の目標 2、12、15 への貢献）

- ① 様々なビッグデータを作物保護に応用することにより、最適な防除の実現、ロボットやドローンなどを利用した新たな防除技術を開発する。
- ② 日本で開発された防除技術を、途上国の実情に適応した技術として展開する。また、その技術を使いこなすことのできる研究者や教育者を育てる。

目 次

1	はじめに	1
2	日本の食料・農業の現状と展望	3
(1)	日本の食料・農業を概観する	3
(2)	日本の自給力は十分か？—独自の試算による—	4
(3)	二兎を追って二兎を得る—近未来の農業を考える視点—	4
(4)	今後重要となる新農業技術の例	5
①	ゲノム編集技術	5
②	スマート農業の現状と今後の展望	7
(5)	農業者の考える水田農業の将来像	8
3	生産農学関連分野の果たすべき役割	10
(1)	作物学	10
(2)	園芸学	12
(3)	土壌科学	14
(4)	育種学	15
(5)	植物病理学	17
4	おわりに	19
	＜用語の説明＞	20
	＜参考文献＞	20
	＜参考資料 1＞審議経過	21
	＜付録＞話題提供者の使用 pdf ファイル	23

1 はじめに

日本の農業は高齢化、担い手不足などの課題が山積している一方、スマート農業、ゲノム育種などの新技術の開発によりこれまでとは違う農業の可能性も示されている。また、地球規模でみると、気候変動の影響による農業生産の一層の不安定化が指摘され、地球人口を養うための様々な方策が求められている。国連も「誰一人取り残さない」という理念のもとに、2030年を期限とした持続可能な開発目標（SDGs）を掲げ各国に取組を求めている。SDGsの17の目標には、農業に関わるものが多く含まれており、農学が貢献すべき課題も多い。

日本学術会議農学委員会農学分科会は、主に土地利用型農業¹に関する地球規模での農業生産や日本農業の抱える問題の実態把握と課題解決に向けた学術的観点からの議論と発信を行うことを第24期の目標として、以下のような具体的テーマについて議論を行ってきた。すなわち、テーマとしては「日本の持つ農業資源の潜在力とそれを顕在化するために生産農学²ができること」とし、主な議論の内容としては、①農学の一つの分野である生産農学²に関わる研究分野からみた農業資源の潜在力、②潜在力を顕在化させて農業を活性化する方策（農産物の収量・品質向上、環境負荷低減、輸出拡大など）、③潜在力を顕在化させるための研究と教育における生産農学の貢献（各分野における技術的貢献と人材育成における貢献）であった。また、SDGsの17の目標との対応についても議論し、生産農学が地球規模の多くの目標に貢献でき、「飢餓の撲滅」や「健康な生活」を通じて、「貧困の解消」にもつながると期待されることを確認した。

農業生産の水準は、農地と農地以外の資源の賦存量と生産性に規定される。農地以外の資源の基本は、労働と資本（農業機械などの資本ストック）であるが、農業の多くが野外の開放系で行われるため、大気、水系、土壌、自然生態系などの環境も農業生産の水準に影響を与える。環境については、農業を支える資源としての側面とともに、逆に農業が負荷を与える側面も考慮する必要がある。真の生産性は、環境への負荷を差し引いたものとも考えることもできる。また、技術力も生産性を大きく左右する。資本ストックに具体化された技術からノウハウとしての栽培技術まで、蓄積された農業技術は重要な資源である。

資源としての労働の質を考える場合、人材育成のための農学教育も重要である。農学分科会では、これまでに報告「生産農学における学部教育のあり方について」（2017年6月28日）を発出し、生産農学の特徴、大学の学部教育に求められる素養、今後の課題などを整理した[1]。

潜在的な生産水準を評価するには、農地の賦存量と生産性から検討する必要がある。日本では農地の減少が見込まれているが、平地における農業経営の大規模化と中山間地域における農業・農村の維持の両面から、また、食料自給力の観点から必要面積を検討すべき

¹ 広い面積の土地と自然環境を利用して生産する農業形態で、イネなどの食用作物、サトウキビなどの工芸作物、イタリアンライグラスなどの飼料作物、野菜などが栽培される。

² 生産農学は農学を構成する7分野（農芸化学、生産農学、畜産学・獣医学、水産学、森林学・林産学、農業経済学、農業工学）の一つであり、対象作物等に主眼を置く分野（育種学、作物学、園芸学など）と環境要因あるいは作物と環境要因との相互作用に主眼を置く分野（土壌科学、植物病理学など）で構成されている。

である。

これまで本分科会では、日本の農業の現状と展望、研究開発の側面を中心とした農業資源とその潜在力の顕在化に関して、農業生産者を含む5名の委員および関係者から話題提供を受け、意見交換を行ってきた。本報告は、分科会で提供されたこれらの話題の概要と潜在力の顕在化のために生産農学に関わる各研究分野が果たすべき役割について取りまとめたものである。

2 日本の食料・農業の現状と展望

(1) 日本の食料・農業を概観する

日本の農業資源の潜在力を十分に活かすためには、国内の食料と農業の現状を的確に把握しておくことが不可欠である。そこで国勢調査・農林業センサス・産業連関表などの統計データによって国全体のマクロ的な動向を把握するとともに、近未来の農業のあり方を見通す上で重要と判断される新たな潮流を確認しておく。

所得水準の上昇とともに日本の食料消費の量と構成が大きく変化したことは周知の事実であるが、同時に付加価値の形成力と就業人口の割合の両面で食品産業（製造・外食・流通）の厚みが増したことも見逃せない〔2〕。一方、国内の農業生産は縮小傾向が続いている。注意を要するのは、農林水産省が農業資源のカロリー供給潜在力を推計した食料自給力について、1990 年頃から低下のトレンドが続いている点である〔3〕。ただし、施設園芸や畜産、あるいは北海道の土地利用型農業のように、生産規模拡大の成果の顕著な部門も存在する。日本の農業を一律に評価することはできない。

農業経営には新たな潮流が生まれている。一つは食品産業の領域にビジネスのウィングを拡大する動きである。付加価値形成力の高い川下の食品産業への展開は自然な流れであるが、食品の安全性確保や顧客のニーズの把握など、従来の農業経営とは異なる取組も必要とされる。食品製造業や外食産業と直接に取引を行う農業経営も増加している。従来の農産物の市場とは異なって、定時・定量・定品質の供給が求められることで、農業経営としても新たな取組が必要となるケースが少なくない。

農業就業人口の減少と高齢化が続くなかで、農業の担い手の動向にも新たな潮流を確認できる。とくに、近年の若手の新規就農者の半数程度は農業法人などへの雇用就農者や起業型の新規参入者であり、大半は非農家出身の若者である。一方、新規就農者の半数程度が 60 歳以上の中高年であることも見逃せない〔4〕。中高年の働き手の存在は、農業生産にとって潤沢な資源という面もある。

農業技術の新潮流という意味では、情報通信技術（ICT）を組み込んだ多彩な機械や設備がパワフルであることを確認できる。極めて広範囲に及んでいる新たな潮流であるが、従来の工学的な技術進歩が筋肉労働を軽減するタイプのものではあったのに対して、ICT 利用の機械・設備は頭脳労働に代替する機能を果たしている面がある。ただし、機械・設備のコスト増が見込まれる場合もあり、今後の農業経営の採否の判断を慎重に見極める姿勢も重要であろう。また、農業の生産プロセスではないものの、ICT によって農業経営の情報発信力が格段にレベルアップしつつある点にも留意すべきである。たとえば生産現場の環境への配慮の取組について、オンタイムで消費者に伝えることも可能になっている。

社会経済の変化への技術革新の対応は、ICT や高齢者の労働力などの潤沢な資源を活用し、いまなお自然生態系の特色を保持している森林や湖沼などの貴重な資源の開発利用を抑制することが基本となる。今後の日本農業の推移を理解し、将来像を見通すためにも、この観点は重要であろう。

(2) 日本の自給力は十分か？—独自の試算による—

「食料」は私たちの生命を支える、他の資源では代替できない唯一の資源である。海外からの輸入に依存する日本では、食料生産の基盤である耕地の面積が減少し続けている。ここでは、日本が持つ食料生産の基盤としての現有の耕地面積および単位土地面積あたりの生産力をもって私たちの生命維持に必要な熱量が1年以内という短期間で供給可能かを評価した。なお、生命維持に必要な一人一日あたりの熱量は2020年の年齢構成では平均2224 kcalと推定されるが、備蓄ならびに魚介類と果実からの熱量374 kcalは通常通り供給されると仮定し、残りの1850 kcalが作物から供給できるかを評価した。

輸入を前提とした現状の自給熱量（消費エネルギーのうち国産でまかなっている熱量）を一人一日あたりで主要14作物を対象に算出すると、イネ746 kcal、コムギ37 kcal、バレイショ22 kcal、カンショ56 kcal、ダイズ19 kcal、オオムギ13 kcal、ヤムイモ4 kcal、タロイモ2 kcalの合計で899 kcalとなった（他の6品目のトウモロコシ、ミレット、エンバク、ライムギ、ソルガム、キャッサバはFAO統計上生産なし、2018年）。なお、各品目の作物の持つ熱量は日本食品標準成分表2010に準じ換算した〔5〕。詳細な算出方法は下野（2014）を参照〔6〕。輸入を前提とし、野菜や花卉などの園芸作物も栽培している平時であるため当然の結果であり、多様かつ豊富な食料に囲まれた私たちの生活は、海外の農家による食料生産に支えられていることを示す。

一方で、重要となるのが、現在の日本の潜在的な生産力である。その評価として、ここでは今すぐに利用できる水田（228万ha）と普通畑（114万ha）を用い、熱量供給量を最大化させるため、水田にはイネを、普通畑にはイモ類（北海道：バレイショ、都府県：カンショ）のみの極端な作付けを仮定して自給力を試算した。その結果、自給力は一人一日あたり供給熱量として、イネから931 kcal、バレイショから209 kcal、カンショから501 kcalとなり合計1641 kcalと、3つの作物のみという極端な条件にもかかわらず、自給のための必要熱量より200 kcal以上不足する危機的な状況にあることが明らかになった。これまで食料自給力を評価した例は極めて限られており、本試算では1年以内に供給できる熱量に焦点を絞った。農林水産省の試算〔7〕においては樹園地や牧草地も耕地に含むと定義し、それらを開墾して作物を栽培するための数年の時間も含めた長期的な視点から、現在の耕地面積においても必要熱量を十分に満たせると報告している。

日本において、持続可能な食料安全保障を実現するためには、今一度、「食料」が持つ意味を問い直す必要がある。経済的な側面に注目した議論が先行しているが、私たちの生命を維持する「食料」の生産の場である農業という産業、また、農業の多面的な機能として、国土保全、水資源の保全、自然環境の保全また文化継承も含めた農村の重要性を認識する必要がある。日本では急速な高齢化により農業の担い手が不足している一方、地球温暖化による地球規模の気候変動が予測される中、食料安全保障の観点から食料生産を次世代まで持続できる新たな農業システムを構築する必要がある。

(3) 二兎を追って二兎を得る—近未来の農業を考える視点—

近未来の農業のあり方を構想する場合、明確な目的を想定し、その達成の度合いを見

通すかたちがとられることが多い。農業のあり方に限らず、社会的に重要な取組の構想では、明確な目的の設定と適切な手段の配置という作業が基本となる。問題は想定される目的が単一ではない場合である。二つ、あるいは、それ以上の複数の目的が存在するとすれば、あり方の構想自体が難問になることもありうる。議論を単純化するため、以下では、二つの目的が存在すると仮定する。

二つの目的のあいだには、三つの関係が考えられる。第1に、一つの目的の達成がもう一つの目的の達成に貢献する関係である。例えば、農業の多面的機能は「農業生産活動が行われることにより生ずる食料その他の農産物の供給の機能以外の多面にわたる機能」と定義され、良好な景観の保全などが例示されている（食料・農業・農村基本法第3条）。これは、農業生産という目的の追求が良好な景観保全という別の目的に貢献する関係にほかならない。第2に、逆に、一つの目的の達成がもう一つの目的の達成に対してブレーキとして作用する関係である。例えば、家畜の増頭をめざすことは温室効果ガスの削減目的に反する面を持ち、二つの目的はトレードオフ関係にある。第3に、二つの目的のあいだに影響が作用しない独立の関係がある。ただし、このケースについても、目的の達成に同じ資源の投入が必要とされ、その資源の総量が限られているならば、一方の目的を重視するとき、他方の目的の達成度は低下するであろう。例えば、限られた土地面積のもとでは、ある作物の生産拡大と別の作物の生産拡大には一種のトレードオフ関係が生じると考えてよい。

現代の、そして近未来の農業のあり方を構想する上で、目的間のトレードオフ、典型的には農業それ自体の生産性向上と環境負荷の低減のトレードオフに向き合うことが避けられない。農業と農業の多面的機能についても、具体的な現場ではトレードオフのケースもあるに違いない。こうした点を明確に意識した農業の構想について、社会科学の分野を含む農学の研究が貢献できるとすれば、次の三つの観点からであろう。

第1に、二つの目的のトレードオフの関係性を物的・数量的に把握することである。第2に、物的・数量的に把握された目的について、社会的な評価を加味するプロセスである。この点で市場の価格は重要な物差しであるが、環境の保全について市場の価格が存在するわけではない。人々の意識とその変化を把握する必要がある。そして第3に、二つの目的が同時に達成される技術的な可能性を広げることである。ここに農業の技術革新の基本的な役割がある。二兎を追って高いレベルで二兎を得るわけである。

留意すべきは、望ましい技術革新の方向は、二つの目的に対する社会的な評価の水準にも依存することである。振り返れば、かつての農業の技術進歩は食料増産が唯一の目的だったといつてよい。環境保全に対する社会的な評価はゼロだったわけである。近未来の農業の目的を改めて多角的に評価し、新たな技術体系のもとでベストのバランスで達成することが求められている。

(4) 今後重要となる新農業技術の例

① ゲノム編集技術

精密かつ効率的に生物の遺伝子機能を調節・改変できるゲノム編集技術が登場し、

様々なライフサイエンス分野での利用が加速している。ゲノム編集技術を用いて、重要な育種形質の発現に関わる遺伝子をより効果的な変異遺伝子と同じ配列構造に書き換えることで、品種改良を高速化できることから、この技術に対する関心が急速に高まっており、農作物の品種改良技術として今後利用拡大が予想される〔8〕。既に米国ではゲノム編集技術を活用して開発した高オレイン酸ダイズから絞った食用油の販売が始まっている〔9〕。日本でも、2014年度から5か年の国家プロジェクトであった内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「次世代農林水産業創造技術」(以下、SIP農業)において、ゲノム編集技術を活用した主要農林水産物(イネ、トマト、ジャガイモ、コムギ、マグロなど)の改良研究が実施され、それらの中で社会実装を視野に入れた作物も開発されてきた。さらに、ゲノム編集生物の商業利用のための国内法整備も進んできており、その社会実装も始まろうとしている。

ゲノム編集技術は、農作物が元から持っている遺伝子に自然変異でも起こりうる変化を創出し、その遺伝子機能を調節する技術である。このような農作物の特性は従来の育種でも創出可能なものである。従って、農作物としての安全性は、従来の育種法で開発された作物と同等と考えられる。一方、遺伝子組換え技術は、細胞外で加工した遺伝子を新たに導入し、農作物の特性を改良する技術である。そのため、その農作物としての利用にあたっては、新たに導入された遺伝子から翻訳されるタンパク質の食品安全性評価や新たに創出される形質の生態系への影響評価が必要で、何れも安全と判断されたものが作物として利用されている。

ゲノム編集技術は、CRISPR/Cas9、ZFN、TALEN など様々な手法が開発されてきているが、狙った遺伝子をピンポイントで書き換える(編集)技術と定義できる。主要な農作物のモデル品種・系統のゲノム解読研究、それに続く多様な品種・系統の比較ゲノム研究、さらには従来から進められてきた重要育種形質発現の分子機構解明の研究から、自然に誘発された突然変異が長い栽培・品種改良の歴史の中で固定・蓄積され、現在の農作物が出来上がってきたことが明らかになってきている。そこで、近代作物に従来の育種技術を使って蓄積されてきた有用遺伝子変異をゲノム編集技術により実用品種に直接再現できれば、効率的な品種改良が可能になると考えられる。ゲノム編集技術は、迅速な育種技術として期待されるため、消費者の嗜好性が強く、多数品種が必要で、品種変遷が早い野菜や花などの作物、あるいは、交雑育種¹では品種の特性が大幅に変わってしまう栄養繁殖性作物²などのワンポイント改良には特に有効な育種技術である。

ゲノム編集技術は、前述の通り、育種技術の一つとして期待される技術であることは疑う余地はないが、一方で様々な課題もある。ゲノム編集作物の開発と消費者に届くまでの課題としては、1)ゲノム編集作物の取り扱いルールの特明確化、2)ゲノム編集作物に対する国民理解の促進、3)海外に先行されているゲノム編集に関する基

¹ 交雑によって両親が保有する異なる有用遺伝子を1つの品種に集め、選抜育成する育種技術

² 種子ではなく、茎葉、塊茎、塊根など植物の栄養繁殖器官から増殖・維持されることが一般的な作物

盤的知財の活用方法などがある。1) については、環境省、厚生労働省のガイドラインで確定したところである。2) については、作物育種に対する理解の促進（作物育種は有用変異の集積であること）とゲノム編集技術が作物育種に果たす役割の理解を促進する情報発信が必要である。3) については、ゲノム編集技術の基本特許所有者と実際の品種開発者が交渉することで解決可能である。ゲノム編集技術は重要な育種技術の一つであり、他の科学技術と同様に長所短所を理解して使いこなすことが大事である。

② スマート農業の現状と今後の展望

日本の農業の労働力不足はますます厳しい状況になっている。基幹的な農業従事者は5年前と比べると15%も減っている。高齢化も進んでおり、現在の農業従事者の平均年齢は67歳で、65歳以上が65%に及ぶ[10]。今後も農業の労働力不足はさらに進行することが予想されており、その対策としてロボットを含めた超省力技術の開発が、日本農業を持続させる上で必須である。さらに農産物の輸入自由化が進む中で、国際競争力を確保するためには、農業構造改革とあわせて革新的な技術開発により、一層の農産物の品質向上や生産コストの削減を図り、さらに農産物に健康機能性などの付加価値をつけて国内外の需要を喚起し、日本農業を成長産業化することも目指すべき方向であろう。農業のスマート化¹はITやロボット技術などの先端技術により「農作業の姿」の変革を可能にする。農家の「経験」と「勘」に依存した現在の農業から「データ」に基づいた農業への転換は、新規就農の促進にも有効であるため、ITやロボットを高度に利用した農業のスマート化は日本農業が抱える問題を解決する上で極めて重要になる。

上述のゲノム編集技術の開発も行ったSIP農業は、農政改革と一体的に、農業のスマート化、農林水産物の高付加価値化の技術革新を実現し、新規就農者、農業・農村の所得の増大に寄与、併せて、生活の質の向上、関連産業の拡大に貢献することを目指し、開発技術の社会実装が最も重要な目標であった。

SIP農業では二つの重点目標、(1)ロボット技術・IT・ゲノム編集などの先端技術の導入による日本型の超省力・高生産なスマート農業モデルの実現、(2)医学や工学との連携での健康機能性による輸入農産物との差別化や新素材開発、を設定した[10]。その中の課題の一つがロボット技術やITを活用した農業機械の自動化・知能化や、多収性イネ品種の育成による超省力・高生産な水田農業（スマート水田農業）である。

「スマート水田農業」ではロボットなど高性能機械や水管理の自動化によって労働生産性の格段の向上を図った。(i)メッシュ農業気象データと気象対応型栽培技術、(ii)人工衛星や低層リモートセンシングによる空間情報の効率的収集と活用技術、(iii)自動給排水システムによる圃場水管理の省力化技術、(iv)ロボットなど自動化・知能化された機械による超省力作業技術、(v)多数の圃場を省力的に管理するための「多圃

¹ 情報通信技術（ICT）やロボット技術を活用して、データに基づいた農業や農作業の省力化・省人化を実現する新しい農業にすること。

場営農管理システム」の開発を進めた。具体的には(i)のメッシュ農業気象データと気象対応型栽培技術では、高温・低温リスク情報などの早期警戒情報が、ウェブサイトを通じて容易かつ迅速に得られるシステムや気象予測データと作物発育ステージ予測モデルを利用して発育予測を行い、適時・的確な栽培管理や作業計画の効率化に資するシステムを開発した。また、(ii)の人工衛星や低層リモートセンシングによる空間情報の活用技術では、衛星リモートセンシングにより、圃場ごとの作物生育を広域的に把握して営農者に提供し、いわゆる「高品質ブランド米」として生産・販売するための産地戦略をサポートする情報技術を開発・実用化した。また、ドローンにより詳細な圃場空間情報を農家に提供し、追肥などの管理作業の適正化を図ることに成功した。(iii)の自動給排水システムによる圃場水管理の省力化技術では、水位制御や取水開始・停止操作が遠隔でできるので、水管理労力を従来の80%まで削減させることができた。(iv)のロボットなど自動化・知能化された機械による超省力作業技術は、世界に先駆けて2018年に商品化したロボットトラクタが大きな成果である。最後に、(v)の多数の圃場を省力的に管理するための「多圃場営農管理システム」はGIS(地理情報システム)を活用して圃場1筆ごとの情報を管理・可視化する機能を提供することで、データの活用を通じた営農指導業務を支援するシステムを開発・実用化した。さらにSIP農業では日本政府が提唱するサイバー空間とフィジカル空間の融合による超スマート社会(Society5.0)を農業において実現するため、農業ITベンダー¹などの各社のサービスやデータなどの連携を可能にする農業データ連携基盤(WAGRI)²の構築にも取り組んだ[12]。WAGRIには「データ連携」、「データ提供」、「データ共有」の3つの機能が備えられており、スマート農業に関する多様なサービスや様々なセンサー機器で取得したデータなどを農業ITベンダーや農機メーカー組織の壁を越えて連携させて使うことができ、自分のデータを他の人と容易に共有できるようにした。これらの機能は農業におけるデータ活用の促進に極めて有効である。そして現在、このSIP農業の普及促進事業として農林水産省は「スマート農業技術の開発・実証プロジェクト」と「スマート農業加速化実証プロジェクト」を全国展開しているところである。この2事業はWAGRIへのデータ集積に対しても有効であるが、地域に適合したスマート農業技術を導入して、その成功事例を地域全体で共有し、スマート農業による地域農業の活性化を円滑に進めることに効果を発揮する。

(5) 農業者の考える水田農業の将来像

新潟県上越市板倉区に所在している(有)穂海農耕について紹介しながら、水田農業の将来像を議論する。(有)穂海農耕の経営面積は145ha程で、水稻と若干の蕎麦を作付けている。従業員数は15名で、全員非農家の新規就農者であり、平均年齢は約32歳と若い。

¹ 農業用の情報技術(IT)のソフトウェアやサービス、システム、製品などを販売する企業

² 農業の担い手がデータを使って生産性向上や経営改善に挑戦できる環境を生み出すため、データ連携・共有・提供機能を有するデータプラットフォーム。2019年4月より本格稼働。

(有) 穂海農耕では「業務用米」を中心とした栽培を行っており、新潟県の中心品種であるコシヒカリは全体の 10% 程しか栽培していない。これは、コシヒカリは倒伏のリスクが高く、刈り取り作業に手間がかかる可能性が高いことと、コシヒカリ以外の業務用米の方が 10 a あたりの売上が高いことが理由である。

このような業務用米は、実需者の要望をヒアリングし、それに合わせた品種を選んで栽培している。寿司や牛丼、弁当に向けた品種といった具合である。これらの品種は実需者の要望に応えられるものであると同時に、生産者にとってもメリットがある品種でなくてはならない。よって (有) 穂海農耕では、実需者、そして、生産者の両方の要望を満たす品種の情報を持ち、それらの栽培方法を確立しておくことを重要視している。

一方で、業務用米は必ずしもコシヒカリのように高く売れるわけではない。収量性が高いため、10 a あたりの売上高は高くなるが、利益を上げるためには原価を下げる必要がある。(有) 穂海農耕では栽培する業務用米に稲刈り時期が早いか遅いかを示す早晩性も求めている。これらをうまく組み合わせることにより、通常であれば 3 週間ほどの稲刈りの期間を、当社では 9 ~ 10 週間まで伸ばしている。これにより、農業機械の稼働率を上げることが可能となり、その結果、少ない農業機械で大きな面積を経営することが可能となるため、利益を上げやすい体質になると考えている。また、このように栽培時期を分散することにより、天候リスクや病虫害のリスクも分散させることが可能となり、経営の安定化へも貢献している。

将来の水稻農業はどうなっていくのだろうか？ 高齢化の波は止まらないであろう。基幹的農業従事者¹の平均年齢は 70 歳を目前にしているとともに、50 歳未満は全体の 10% 程でしかない。さらに従事者数も、1985 年に比べると半数近くに減っている。一方で、大規模化が進んでいるといわれているものの、20 ha 以上の農業者数は全体の 2 % 程でしかなく、しかもこの数字は北海道の農業者数の数を含んでいるため、本州の水稻農業ではさらに少ないと考えられる [13]。つまり大規模化はそれほど進んでおらず、今後も集約化される余地は残っていると考えられる。

これらを総合すると、今後 5 ~ 10 年の間に、現在の 50 歳未満の農業者で既存の農地を耕作していかなければならない、つまり乱暴な計算をすれば一人あたり 10 倍近くの面積を耕作しなくてはならないという事態になりかねないと考えられる。これを最悪の事態と想定した上で、この状況において耕作していくためには、基盤整備による圃場の大規模化やロボット、ドローンの導入、そして水管理の遠隔操作の導入が必要になると考えている。加えて、栽培の現場だけでなく、育種や、流通形態の工夫、そして未来を見据えた基礎研究の実施、環境面での新しい取組が必要になると考えている。農業者自身の経営能力も高めなければならないが、これらが行われていくことにより、水稻農業は強くなり、そして「儲かる産業」として位置づけられるのではないかと考える。

¹ 普段の主な状態が農業を行っている者

3 生産農学関連分野の果たすべき役割

(1) 作物学

作物学は、広い面積の土地と自然環境を利用して生産する食用作物や工芸作物、飼料作物を対象とし、作物の収量と品質の向上、生産の効率化と安定化、環境調和性と持続性を持つ栽培技術の開発を主な課題としている。

日本の耕地面積と作物の作付面積は減少しつつあり、耕地利用率が100%を下回る一方、コムギ、ダイズ、トウモロコシなどの穀物の大量輸入により、カロリーベースの食料自給率は37%にまで低下している。また、農業の担い手の減少と高齢化が進行し、農家の耕地面積が増加すると同時に、農業法人や会社が営農する割合が増加しつつある。今後の世界の人口増加、気候変動などの環境問題、エネルギー資源の制約を併せて考えると、日本の作物生産を強化し食料自給率を向上することは緊急かつ重要な課題である。その解決のためには環境保全にも配慮しつつ大規模経営体が耕地を有効活用できる省力・低コスト技術を高度化するとともに、水田輪作の推進と畑地の生産性の向上により自給率が著しく低い畑作物の生産拡大を図る必要がある。

日本では第二次世界大戦後に農地整備が進み、現在、水田の約3分の2が30 a程度以上の区画に整備され、畑地の約4分の1の区画整理と灌漑施設の整備が終わっている。このように、耕地の約半分は基盤整備されており、作物の効率的な省力・低コスト生産が可能となっている。一方、中山間地域の小規模水田や平坦地も含む畑地など、残りの約半分の耕地は基盤整備が遅れており、効率的な作物生産が困難である。今後、とくに畑地の基盤整備を進めると同時に、畑作物の生産性を高める灌漑排水技術、中山間地域などの各所に散在する小規模な耕地を有効に活用し得る高収益で作業効率の高い作物生産技術を開発する必要がある。

稲作では、田植えや収穫作業の機械化と除草剤の普及により大幅に省力化され、さらに機械作業の高速化、密播苗¹や水耕苗の育苗、不耕起・無代かき移植、自動水管理システムなどの省力技術の開発が進んだ。しかし、現行の中型機械移植体系では7～8 haが規模拡大の限界とされており、10 ha以上の規模では育苗・移植作業のない直播栽培²による省力・低コスト栽培体系を導入する必要がある。これまでに直播水稻の出芽・苗立ちや倒伏のメカニズムが解明され、過酸化カルシウムや鉄、モリブデンなどの資材を種籾に被覆した湛水直播技術、不耕起V溝直播³やプラウ耕グレーンドリル播種方式の乾田直播技術⁴が開発されて直播面積は増加しつつあるが、収量水準が移植栽培に及ばず、直播栽培は作付面積の約2%にとどまっている。今後は低温・低酸素条件下で出芽・苗立ちが優れ、浅く播種しても倒伏しにくく、移植栽培と同等以上の収量が得られる品種と栽培技術が必要で

¹ 水稻の育苗箱にたくさんの種籾を播いて苗箱数を減らす技術。

² 水稻の種籾から苗を育てて田植えする移植栽培に対し、種籾を直接水田に播く栽培方法。

³ 乾田状態の圃場に耕起せずに約5 cmの溝を切り種籾を播種する栽培方法。鳥害が少なく倒伏に強い特徴がある。

⁴ プラウで深耕し土壌鎮圧した乾田圃場にグレーンドリルで種籾を播種する栽培技術。畑作用機械が汎用利用でき、高速作業が可能である。

あり、そのために、出芽・苗立ちや耐倒伏性を制御する量的形質遺伝子座¹とこれらの形質が優れた遺伝資源を明らかにするとともに、直播適性を備えた高品質・良食味品種を用いて各地域で安定多収が得られる直播栽培技術を開発する。

水田輪作²における畑作物生産の最大の阻害要因は湿害である。近年、高齢化・担い手不足により、畝立て、溝切り、土入れの手作業による排水促進が困難になり、湿害による生育不良や収量低下が顕在化してきた。現在、暗渠施工や地下灌漑の排水改善の基盤技術、畝立てやプラウ耕の湿害回避の機械作業技術により、水田転換畑³におけるダイズ、ムギ類、ソバの畑作物栽培が実施されている。また、これらの排水対策と水田への復元時の漏水対策や養水分管理技術により子実トウモロコシなどの飼料作物やタマネギ、加工トマトの露地野菜を組み込んだ水田輪作体系の技術開発が進んでいる。ムギ類では根の深さ、ダイズでは通気性組織の発達程度が湿害と関係することが解明され、トウモロコシでは遺伝資源を利用した耐湿性品種の育成が進んでいる。今後は、圃場における畑作物の湿害のメカニズムを解明し、耐湿性向上のための作物栽培および土壌管理の技術を開発することにより、汎用化水田⁴における水田輪作体系を導入し畑作物の生産拡大を進める。

作物栽培では、各地域で毎年異なる気象条件に応じ、播種や収穫時期、病虫害防除時期や回数、養水分などの調節により収穫物の量や品質を向上させてきた。これまでは作物の栽培暦を基本とした画一的な栽培管理が行われてきたが、葉色診断や作物生育予測モデルの導入により、作物の生育に応じた施肥や防除、収穫作業が可能となり、収量や品質の向上のみならず、肥料や農薬の施用量の低減と省力・低コスト化にも貢献している。今後、大規模経営体による効率的な作物生産には、圃場ごとの気象や土壌、作物の情報に基づく確かな作物管理が必要であり、そのためには ICT 導入と合わせて、作物や品種の栽培・環境条件に対する生育反応の研究と気候変動に対応した栽培作物の変更、そして生育診断技術の高度化が必須である。一方、中山間地域の小規模圃場で高収益作物を組み込んだ作付体系を確立するため、有機栽培水稻やもち性ムギ類などの高収益作物の収量や品質の向上と高付加価値化に関する研究と技術開発を進める。同時に、小規模圃場での作業の効率化をはかるため、ドローン利用など ICT の導入を考慮した技術開発を行う必要がある。中山間地域の小規模圃場で作物生産を継続させることにより、国土保全と自然環境・地域社会を維持する効果も期待できる。

作物学分野では、上記の課題の他、飼料米などに求められる高収量、炊飯米などに求められる高品質・良食味、気候変動下の不良環境条件における作物の安定生産などの課題に継続的に取り組む。同時に、園芸や畜産分野との連携の下、作物残渣や畜産廃棄物の有効利用を通して、資源循環型で高品質・安定多収な作物生産のための研究と技術開発にも取

¹ 量的形質とは収量や品質のように複数の遺伝子の総和によって支配される形質で、その量的形質の現れ方に関わる染色体上の DNA 領域のことを量的形質遺伝子座という。

² 数年ごとに水田を畑に転換して畑作物を栽培すること。雑草や土壌病害虫の防除、作土の土壌改良に有効で、水稻、畑作物ともに増収が期待できる。畑転換時の排水、水田への復元時の漏水防止への対策が必要。

³ 稲作のために湛水・灌漑の可能な耕地、すなわち水田を畑作物生産のために利用形態を転換した農地のこと。畑作物の良好な生育と機械作業のために排水対策が重要である。

⁴ コムギやダイズなどの畑作物が栽培できるように排水路や暗渠などの排水施設を整備した水田。

り組む。また、熱帯および乾燥地域における作物の生産技術の国際共同研究などを通して、開発途上国の人材育成とネットワークの形成を推進してきた実績を踏まえ、今後は対象地域や課題を拡大するとともにネットワークを活かした国際的な研究と技術開発を進める。それらにより、SDGs の第 2 の目標の食料の安定確保の達成と持続可能な農業の推進、第 13 の目標の気候変動とその影響の軽減、第 17 の目標のグローバル・パートナーシップの活性化に貢献する。

(2) 園芸学

園芸学は、傷みやすいことを特徴とする野菜、果実、花卉（かき）などを生産する園芸作物の開発・生産・利用に関する農学の一領域である。園芸作物は、品目の種類が多いことに加え、一つの品目の中に多くの品種があり、野生種も含めそこには多様な遺伝資源が含まれている。

アジアやアフリカのモンスーン地帯では、屋敷のまわりに野菜や果樹、イモ類を組合わせて自給畑をつくり、園耕といわれる少規模集約農業が行われている。このような家族農業的な園芸生産は、国連が示している「持続可能な開発目標（SDGs）」の第 2 の目標である飢餓や貧栄養対策として重要である。一方、欧米や東アジアの商業園芸では、労働集約的で環境制御型の生産体系が成立しており、高収量・高品質を実現している。特に日本では超高品質を求めた篤農的な技術が発達している。商業園芸には最新の科学技術が導入されやすく、遺伝子組換え品種、植物工場、IT 園芸¹なども実用化段階にある。しかし、商業園芸では、労働のみならず資源やエネルギーが多投入となりやすく、おしなべて環境負荷が大きい。生産物の流通ロスも 20～30%あると見積もられる。園芸生産が経済的に成立することは勿論であるが、そこに持続可能性を担保するシステム設計が求められる。

園芸作物には、食味・機能性や外観面での高品質性、収量や栽培容易性、病虫害、乾燥や過湿、高温や低温環境に対するストレス耐性、さらに保蔵性などの多様な優良形質が求められる。これまで、遺伝学に基づく交雑育種²やF₁育種³により優良品種が作出され、園芸産業の活性化に大きく貢献してきた。最近ではゲノム編集技術による新品種育成も現実のものとなっている。今後は、地球温暖化による栽培環境の変化や新たな病虫害の発生・侵入の危険に対応する品種育成が求められる。一方、長い歴史の中で育成された各地の在来品種の生産は減少し、すでに失われた品種も多い。園芸分野においても、世界レベルでの多様な遺伝資源の保全とアクセスの確保ならびにその有効活用を実現するため、ジーンバンク⁴の整備と国際的な制度設計が不可欠である。これらの遺伝資源の有効活用に向け

¹ 環境情報や園芸作物の生体情報を計測し、コンピュータを使って環境制御、病虫害防除、養水分管理などの栽培管理を複合的に行って最適化する園芸生産技術。IT 技術は品質検査等の出荷作業にも活用される。

² 2つの異なる交配親の交雑によって変異を作り出し、目的とする形質を選抜し、さらなる交雑と選抜を繰り返すことによって品種を作り出す育種方法。

³ 異なる対立遺伝子をホモにもつ系統同士をかけ合わせて、その遺伝子座をヘテロ接合とすることで雑種強勢や耐病性などの優良形質を備えた遺伝的に均質な種子（F₁種子）を得る育種方法。F₁品種の優良形質は当代のみ維持される。

⁴ 農作物や園芸作物の場合、野生種系統や品種を含む遺伝資源を種子や栄養系として保存し、必要に応じてそれらを利活用していく目的で設置された遺伝資源の保存施設。

て、次世代シーケンシング（NGS）や質量分析装置を活用したオミックス解析¹やゲノム科学の適用が期待されており、得られた知見を育種や栽培技術の研究に取り入れることで、園芸学の新たな展開が期待される。

園芸技術の大きな特徴として、施設での高度な環境制御があげられる。施設園芸では主として光と温度環境が制御対象であり、二酸化炭素濃度が制御される場合もある。そこには、直接的にも間接的にも化石燃料資源を投入することが前提である。日本の施設園芸は農業用塩化ビニルフィルムの供給を契機として急激に発達し、今日、野菜や花卉のみならず果樹生産にまで普及しているが、直接エネルギーだけをみても農業生産全体における二酸化炭素排出量の70%以上が施設園芸由来となっている現実がある。SDG s の第7や第13の目標にも貢献すべく、耐久性の高い資材や高効率のエネルギー利用システムの開発、水素やバイオマス、太陽光などの自然再生エネルギーの活用技術の開発が急がれる。また、作物モデルを使って生育や収量をシミュレーションし、AI やIoT 技術により得られたビッグデータを活用しながら環境制御、肥培管理、整枝管理²、病虫害防除などの栽培管理に活用していこうとする研究が開始されており、経験的な篤農技術からの脱却が期待される。一方で、養液栽培をベースとした植物工場も国内外で稼働しており、温度や肥培管理のみならず、LED を用いた光質や照射方法、二酸化炭素濃度、飽差なども制御対象となっており、光合成の最適化が図られている。オランダを中心に、施設栽培用のトマト品種の育成が施設構造や栽培管理法の改善と併行して進められ大きな成果をあげており、今後オミックスやゲノム科学の手法も導入して、地域の特性やニーズに適合した施設栽培用品種の育成が行われることが期待される。腎臓病患者用の低カリウム野菜などテラーメード野菜も養液栽培技術を用いれば開発可能である。

露地での園芸生産においては、農業法人を中核とした少品目大規模生産によって収益性の向上を追求することが一つの政策的な方向となっており、労働の効率化や機械運用の最適化にデータ端末を利用するシステムが既に各地で導入され始めている。同時に、作業の機械化、ロボットの活用、機械運用を前提とした合理的な作付け体系³の開発、労働生産性を考慮した剪定などの管理技術の開発、作業性に優れた園地整備のデザインが年々高齢化する園芸生産者の労働負荷を減らすことを可能にするだろう。一方で、六次産業化に代表される生産者と消費者との距離を縮めた商品開発や、多品目少量生産を基本とする家族農業的な農家のあり方は今後も維持継続されるべきと考える。人口減少が進む中、健全な地域社会の存続に園芸生産が果たす役割は単なる食料供給にとどまらず、住民の健康福祉への影響、ひいては地域文化の継承など社会や地域のあり方も含めた複合的な観点から、持続可能なシステムとして再構築することで SDG s の第3、第9、第11の目標達成に貢献できる。また、露地園芸生産は、施設生産ほどではないが、投入される資源量が大きく、

¹ 網羅的な解析手法を用いてゲノム（ゲノミクス）、転写物（トランスクリプトミクス）、タンパク質（プロテオミクス）、代謝物（メタボロミクス）などを解析する方法で、各オミックス間の解析も行われる。

² 園芸作物の生育特性に応じて、シュートや枝を摘心・摘除（剪定）し、支柱や棚に誘引することで、高い生産性が得られるように生産群落構造を人為的に改変して管理する園芸技術。

³ 地域の気象条件、地力の維持や病虫害・雑草の発生にも配慮しつつ、一つの耕地（施設を含む）に年間を通じて、あるいは数年間にわたって、どのように作物を作付け、どのような栽培管理を行うかの技術体系。

環境負荷も大きい。緩効性の化学肥料や効率的な施肥法が開発され、大幅な施肥量の削減が可能になりつつある。さらに、メタゲノム解析¹手法の発達により、これまで実態把握が難しかった土壤微生物について、根粒菌や菌根菌など直接的に植物栄養に関わる微生物の他、微生物相が植物の成長、ストレス耐性、病虫害抑制と深く関わっていることが明らかになりつつある。これらの知見を栽培技術に活かすことで、農薬や肥料の資源投入を減らすことが期待される。現在、これまでの収奪園芸から持続可能な園芸への転換が指向され、包括的に物質循環を維持する生産方法の確立に向けて、有機物施与による土壤炭素貯留、土壤からのガス発生動態に関する研究などが進められている。また、生産物の安全性を担保するために、天敵を利用した生物的防除や忌避光を利用した害虫対策も普及しつつあり、化学農薬の施用量の削減が進められている。

日本では野菜、果実、花卉の収穫後の保蔵・流通技術が確立され、コールドチェーン²が整備されたことが、品質を保持した広域流通に大きく貢献している。日本の園芸生産物は、その生産技術に裏打ちされた高品質と安全性や機能性が高く評価されており、流通コンテナの高度化も進み、近年輸出が急速に伸びている。さらなる流通ロス減らすには、スマート農業の技術を活かしたフードチェーンシステム³の確立が求められており、地産地消によるロスやコストの削減にも取り組む必要がある。そのためには、食品科学や流通・消費科学、さらには健康科学との密接な連携とグローバル・パートナーシップの醸成（SDGs 第17の目標）が必要となる。また、これらの研究や技術開発・普及を進める人材の育成が不可欠である。

(3) 土壌科学

土壌科学は、日本の農業生産を支える基盤である土壌資源を持続的に活用するための土壌分類・生成や土壌の機能解明、肥料の効率的利用、植物の健全な生育を助ける植物栄養などの技術開発を主な課題とする農学の領域である。日本の農業生産は急峻な山地の多い国土で周囲を海に囲まれた限られた農地に依存しており、森林から畑、水田に至る地形連鎖を活用した高度利用と集約農業を支えている。モンスーンアジアの一角に位置している日本では、豊富な水資源を有効利用した水田農業と、環太平洋火山帯に位置する活発な火山活動に由来する黒ボク土壌を特徴とする畑農業や牧畜業と連携した草地、また都市近郊の園芸農業や各地の気候に適応した果樹栽培などが展開されている。

これらの農業生産の基盤である土壌資源が有する潜在力は、永年の地力増進や営農管理によって培われ、近年の精密農業にも対応できる養分管理を可能にしている。例えば水田農業では土壌侵食の防止や、地形連鎖によって窒素負荷の浄化が行われており、持続可能な農業の典型として評価される。また水田土壌や黒ボク土壌は土壌炭素蓄積量が多く、温

¹ 土壌中などの微生物群集のゲノムの総和をメタゲノムといい、このメタゲノムを網羅的に解析すること。

² 園芸生産物の生産者段階での予冷、流通段階での低温輸送と低温保蔵、消費段階での冷蔵に至る品質管理のための低温環境の連続した流れをいう。

³ 農産物、園芸生産物を含む食料品の生産、加工・流通、消費の連続した物流・商流・情報流のシステム網を指し、食料品の安全性の確保、エネルギー消費や二酸化炭素の排出、食料残渣等の廃棄までを含む。IT技術を活用して最適化した地域でのスマートフードチェーンから輸出入を伴う広域的なグローバルフードチェーンまで規模は様々である。

室効果ガスである二酸化炭素の貯留庫としての観点でも注目されている。今後、土壌資源の潜在能力の更なる開発のため、土壌成分の微細存在状態および土壌微生物による植物養分など化学物質の形態変換機能や不可給態養分の可給化など植物との相互作用を活用した機能解明なども期待したい。

一方、人間活動による重金属や合成化学物質、放射性物質による土壌汚染が起こり、その浄化と回復に多大な労力と年月を必要としている。これらに対して、重金属や放射性物質を集積する植物によるファイトレメディエーション¹や、可食部に有害金属を集積しないか、あるいは逆に地上部に有害金属を集積する作物の創出が進められており、合成有機物を分解する微生物などと共にその活用が期待されている。また水田では、嫌気的な環境で発生するメタンが1分子あたり二酸化炭素の30倍を超える温室効果を持っているが、その削減策として中干期間の延長や間断灌漑²など有効な水管理技術が普及し、農林水産省の事業として生産と環境の両立が図られてきており、東南アジアへの技術移転も進みつつある。

また近年の食料自給率の低下と共に、海外から大量の食料や飼料が輸入されており、その残渣や糞尿の最終処分先に農地が想定されていることから、国内の窒素負荷量が増大し、水質汚染の悪化や温室効果ガスの一つ、一酸化二窒素(N_2O)の放出量増加が懸念される。したがって、食料自給率の向上と環境汚染の防止を図ることは必要であり重要な課題である。例えば、有機資源のさらなる活用や肥効調節型肥料あるいは精密農業などで無駄のない施肥管理を推進することが必要であり、そのためには田畑一筆ごとの地力など土壌資源の潜在能力を示す精密土壌図の効率的活用や多様な作物作型³、あるいは気候変動にも対応したきめ細かい施肥管理の普及活用が望まれる。以上のような取組はSDGsの掲げる貧困や飢餓の撲滅(目標1、2)、気候変動抑制(目標13)、陸上生態系の保全(目標15)などと密接に関わっており、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)報告書の作成や国連FAOが推進するGlobal Soil PartnershipおよびIUSS(国際土壌科学連合)の学術連携や広報活動にも貢献している。

さらに食料自給率の向上や地球環境問題、あるいは防災の観点からも、土壌を含む生産農学の潜在力について、義務教育の段階から積極的に国民にアピールしてゆくとともに、国際連携を推進する必要がある。

(4) 育種学

作物育種は、多様な個体集団の中から人にとって有益な表現型(例えば、収量が多い、病害虫に強い、低温・高温に強いなど)を持った個体を目視で選抜することで行われてきた。メンデルの法則の再発見により遺伝子の存在が明らかになると、遺伝学の問題を取り

¹ 重金属や合成化学物質、放射性物質など有害物質で汚染された土壌を植物によって浄化する技術。植物根から吸収された重金属は地上部に移行し、地上部を収穫除去することによって、土壌中の有害物質濃度を低下させることが出来る。

² 水田で田植えから収穫時まで灌漑水を常時、田面に導入し、土壌表面を絶えず湛水状態にしておく常時湛水に対して、灌漑水を一時的に導入せず、落水(田面水位をゼロに)して、節水や温室効果ガスであるメタンの放出を抑制する水管理方法。中干しは盛夏に一時的に落水するのに対して、間断灌漑は盛夏以外の時期にも行われる。

³ どのような作物をどの時期に栽培するか地域別に類型化すること。

入れた交雑育種が始まり、近代育種が発達し、作物の収量性の向上などに貢献してきた。1990 年代になるとシロイヌナズナといったモデル植物を中心に遺伝子の実態が明らかになってきた。モデル植物の遺伝子研究と遺伝的多様性や変異体を活用した遺伝子研究が作物でも進展し、作物の重要育種形質を制御する遺伝子の実態も明らかになってきた。

2000 年代になると DNA シークエンサーの性能が飛躍的に向上したことにより、多くの作物・品種・近縁種で全ゲノム解読が可能となった。日本はイネゲノム解読を主導し、ゲノム情報を育種に活用するための基盤研究においても世界を先導してきた。ゲノム情報を使った比較ゲノム解析¹が行われ、作物の重要形質に関わる遺伝子の実態が解明されてきた。主要作物では重要育種形質に連鎖した遺伝子領域や重要形質発現に関わる遺伝子が明らかになり、表現型と遺伝子（型）を繋げることが可能になった。その結果、遺伝子型をみて当該作物の重要育種形質を選抜することが可能になってきた。初期は、単一の形質を特定の遺伝子（領域）で判別する DNA マーカーが開発され、次いで、量的形質を支配する複数の遺伝子領域を特定する QTL 解析手法²が発達し、最近では全ゲノム情報に基づく一塩基多型を利用した GWAS などが開発された。これら新技術の開発により、経験と勘を頼りに実施されていた育種が飛躍的に効率化できるとされている。今後は、これらの技術が育種家に普及することで育種がより効率化すると期待される。

従来の育種では、有用な自然突然変異や人為突然変異を利用して品種の育成が行われてきた。この方法では、有用な変異を目的系統に導入した後、何世代にもわたり選抜する必要があるため、時間と労力がかかる。一方、有用遺伝子の実態が明らかになったこと、遺伝子工学技術が発達したことにより、有用遺伝子を短期間で優良品種に導入する育種技術が開発された。遺伝子組換え技術はその代表例であり、より迅速で効果的な育種が可能となった。遺伝子組換え技術は、トウモロコシ、ダイズ、ナタネ、ワタを中心に活用され、世界の食料生産の増加と持続に貢献しており、この役目は今後とも続くと予測される。さらに近年では、ゲノム編集技術の発達により、有用形質を優良品種に精密に再現することが可能になってきている。重要形質に関わる遺伝子変異の実態解明が多様な作物で急速に進んでおり、ゲノム編集技術を活用した育種は今後益々普及すると予想される。日本においては、多様化する生産者や消費者のニーズに応えた付加価値の高い生産・加工・消費特性を備えた作物の迅速な開発が今後求められると予想される。ゲノム編集を始めとした新しい育種技術は、これに応える技術であり、育種・生産農学・食品加工・流通・生活・健康という一連のフードシステムの改革を促す基盤技術となることが期待される。

従来の作物育種は、収量性の向上と生物的・非生物的ストレスに対する耐性を向上することで生産性や品質を安定化させることを大きな目標として行われてきた。近年では、SDGs の第 13 の目標「気候変動への適応」を可能にする品種開発も進められている。今後は、これらに加えて、持続的作物生産と環境保全という SDGs の第 2、第 15 の目標達成に向けて、少ない資源（水、肥料、光、温度など）投入量で出来るだけ多くの収量が得られるような

¹ 異なる生物間、品種間、系統間でゲノム情報を比較すること。

² 量的形質遺伝子座（quantitative trait locus）の染色体地図上の位置と遺伝効果の程度を、DNA マーカーとの連鎖から統計的に推定する遺伝学的分析手法。

育種が重要目標になると予想される。持続的作物生産に資する品種開発には、作物と動物・微生物との相互作用を利用するための農業環境基盤情報の集約と解析が必要である。集約された情報の AI を利用した解析から新しい育種形質とそれを制御する有用遺伝子が同定され、ストレスに耐性で生産性の高い省資源型品種育成につながることを期待される。なお、これら SDGs の目標達成に向けては各国の研究機関との連携が必須と考えられる。

AI や IoT の発達やスーパーコンピュータの成達はまた、リアルタイムに大量のデータを取得し解析することを可能にした。これにより、従来の「草丈」や「収量」といった静的な情報だけでなく、「成長」や「光合成速度」などの動的情報を用いて形質評価（フェノタイピング）が可能となったことで、それを活かした新しい育種選抜が実現すると期待される。この先端的フェノタイピング技術により、従来の育種形質に加えて、最小資源投入作物などの次世代育種が加速すると期待される。

作物の生産性は、栽培技術（環境制御技術）と育種技術の双方が両輪となって達成される。育種技術の継続的開発は今後とも農業資源の潜在力を顕在化させる上で極めて重要である。

（5）植物病理学

植物病理学は、植物の病原体の診断・同定、病原体の伝染方法や感染・増殖機構、さらには病原体と植物の相互作用などを明らかにするとともに、人の健康へのリスクと環境への負荷を軽減しつつ、安定した農業生産を実現するために、病害の適切な防除によりその被害を抑えることも目的としている。

2018 年 12 月、国連総会において、2020 年を「国際植物防疫年(International Year of Plant Health 2020:IYPH2020)」とすることが採択された。これに基づき、日本でも植物病害虫のまん延防止の重要性についての意識啓発が進められることとなった（<http://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/iyp/h/iyp.html>）。農作物・農産物の活発で国際的な移動、あるいは、気象変動などにより、日本における病害虫の侵入や定着のリスクは増大している。同時に、「農」と「食」におけるその安全と安心の確保について、消費者の関心が一層高まっているだけでなく生産者からの要請も増大している。植物病理学を含む植物保護科学はこれらの要請に応えるために、多くの知見を蓄積し、現場への貢献に努めてきた。

その成果は多数あるが、まず、病原微生物・病原体の生態、病原微生物・病原体と植物との相互作用などへの理解を深めてきたことは、化学的防除のみに依存せず、標的外生物や環境への負荷を軽減する多数の防除法の開発に結びついた。防除法として植物の抵抗性誘導、非病原性微生物などによる生物農薬の開発、ウイルス媒介虫を含めた害虫に対しては、光や色を使った物理的防除技術も実用化されてきた。また、これらの理解に基づいて、早期診断や病原同定の技術開発、あるいは発生予察への応用が進んだといえる。一般にも、「環境にやさしい病害虫防除」という考え方が広まっている。一方、新規の病害虫の侵入や発生、蔓延に常に対応できる情報や技術力の蓄積が、生産の現場でも研究の場において

も必要であることはいうまでもない。

抵抗性を有する品種の新たな作出も注目される。遺伝子組換えによる抵抗性品種の作出ではすでに多くの成果が上がっているが、日本での栽培については知的財産権の問題や、消費者の受容の問題などもあり、行われていない。一方、ゲノム編集については、2019年9月に日本でもゲノム編集食品が解禁となり、販売が可能となった。内閣府による戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）においても国産ゲノム編集技術などの開発や社会的な需要の促進などが取り組まれてきた。国内で各種の知見と実績が蓄積されているゲノム編集など「新たな育種技術（NPBT）」は知的資源であり、今後、作物保護の分野でも活用されることが期待される。抵抗性品種の育種にあたっては、植物病理学により蓄積された病原や病原と植物の相互作用に関する知識が欠かせないというまでもない。同時に、これらの知識は貴重な知的農業資源であるため、必要に応じてそれを活用できるように、層の厚い研究や普及の体制を維持することが求められる。

今後の展望としては、すでに利用されている、あるいは、潜在している植物病理学の知見を異分野の技術と融合すること、および、日本での実績を踏まえて世界の、とくに、途上国の病害防除に貢献することがあげられる。多くの産業で活用されているビッグデータを作物保護に応用することによる最適な防除の実現、ロボットやドローンなどを利用した新たな防除技術の開発などは、安全・安心な食料生産だけでなく、都市化や高齢化などで変容する私たちの社会がもつ課題に応えるものといえる。また、脆弱な経済背景を有する途上国において、安定した農業生産の基礎となるものの一つは、確実な病害防除である。日本で開発された防除技術を、途上国の実情に適応した技術として展開すること、そして、それを維持できる研究者や教育者を育てる人材育成、農家への普及などを行うことは、途上国だけでなく、ひいては日本の安定した食料安全保障に寄与するものとなろう。また、SDGsの目標2「飢餓をゼロに」にまず貢献するとともに、合わせて目標12「つくる責任つかう責任」や環境保全に関わる目標15「陸の豊かさを守ろう」にも貢献するものである。

4 おわりに

本分科会は 2017 年 6 月に報告「生産農学における学部教育のあり方について」を発出し、大学学部における生産農学に関する教育が具備すべき知識と経験、学んだ学生が今後の日本農業の課題にどう対処していくかなどについて論じた。分科会として次に取り上げるべき課題の検討で食料自給率の低いことが話題となり、その解決のためにまず日本農業の現状を研究者および農業従事者から聞き取りを行って見直すとともに、改善に向けた新しい取組であるゲノム編集技術およびスマート農業技術に注目し、それらを含めた生産農学が果たすべき役割を検討することにした。

検討の結果、「日本における農業資源の潜在力を顕在化するために生産農学が果たすべき役割」として本報告をまとめた。前半の「2 日本の食料・農業の現状と展望」は研究者および農業従事者から話題提供された内容をまとめたものである。これらのテーマについては様々な意見交換を行ったが、基本的には話題提供の内容を共通認識として持つこととした。後半の「3 生産農学関連分野の果たすべき役割」は前半の話題提供部分を踏まえて、生産農学の各分野の今後の研究方向を議論した結果を記載した。生産農学を構成する各研究分野では最先端レベルの研究がなされており、それを踏まえて今後取り組むべき重要な研究方向を示すことができたと考える。農業は地域性や気象変動に左右されるが、日本では多様な生育環境への対応に研究面で古くから取り組んできておりその成果といえるのではないだろうか。

しかし、議論の過程では、不安な要素もいくつか明らかとなった。例えば、農業の担い手が急激に減少しているにもかかわらず農産物は溢れ、消費者として国内農業の課題を実感することが少ないこと、また、地球温暖化にともなう気候変動により持続的な農業生産や地球環境維持が危機的な状況に近づいているにもかかわらず「正常性バイアス」が働いてしまっていることなどである。耕作放棄地の増加も問題で、それらを抑制し一定の農地を確保することが農業生産の面から重要であることも指摘された。

農業資源としては、土地資源や環境資源の他に、育種・栽培技術とそれにつながる基礎および応用研究などの知的資源も肝要である。今回は十分な討議ができなかったが、農業および関連産業の次の担い手育成にとって初等中等教育や大学院教育もまた、重要である。

なお、いずれの分野の研究でもビッグデータと AI の活用が研究推進の基盤となってきた。農業分野においては解析すべき情報量や暗黙知領域が非常に大きく、これらの先端技術を用いたフェノタイピング（表現形質解析）などを精力的に進め、活用する必要があることも議論のなかで合意された。

本報告が、まだまだ SDGs への関心が低い日本にあって、農業を通じ SDGs への関心を高め、貢献する人材の育成に資することを強く期待する。また、今後得られた成果は日本だけに留めるのではなく、クラウド化などを通じて諸外国と連携して省資源持続型農業 (LISA) を推進することが望まれる。そのためにも継続的な予算措置や、実効性のある法整備が必要である。

＜用語の説明＞

（１）持続可能な開発目標（SDGs）

持続可能な開発目標（SDGs）とは、2015年9月に国連総会が決議した「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」が掲げた17の目標。

（日本学術会議HP、<http://www.scj.go.jp/ja/scj/sdgs/index.html#goal14>）

- 目標１．あらゆる場所のあらゆる形態の貧困を終わらせる
- 目標２．飢餓を終わらせ、食料安全保障及び栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する
- 目標３．あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する
- 目標４．すべての人に包摂的かつ公正な質の高い教育を提供し、生涯学習の機会を促進する
- 目標５．ジェンダー平等を達成し、すべての女性及び女児の能力強化を行う
- 目標６．すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する
- 目標７．すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する
- 目標８．包摂的かつ持続可能な経済成長及びすべての人々の完全かつ生産的な雇用と働きがいのある人間らしい雇用(ディーセント・ワーク)を促進する
- 目標９．強靱（レジリエント）なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る
- 目標10．各国内及び各国間の不平等を是正する
- 目標11．包摂的で安全かつ強靱(レジリエント)で持続可能な都市及び人間居住を実現する
- 目標12．持続可能な生産消費形態を確保する
- 目標13．気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる
- 目標14．持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する
- 目標15．陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処、ならびに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する
- 目標16．持続可能な開発のための平和で包摂的な社会を促進し、すべての人々に司法へのアクセスを提供し、あらゆるレベルにおいて効果的で説明責任のある包摂的な制度を構築する
- 目標17．持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化する

＜引用文献＞

〔１〕日本学術会議 農学委員会 農学分科会、報告「生産農学における学部教育のあり方について」、2017年6月28日。

〔２〕生源寺眞一：社会を支える農業・農村．京都大学経済研究所附属先端政策分析研究

センター編「資本主義と倫理」：69-105（2019）．

〔3〕農林水産省：食料自給力指標の動向．「平成30年度食料・農業・農村白書」：84-86（2019）．

〔4〕農林水産省統計部：「新規就農者調査」：(2006-2018)．

〔5〕文部科学省：日本食品標準成分表（2010年版）．（2010）

〔6〕下野裕之：わが国の食料供給力の定量的評価．日本作物学会紀事 83：341-351．（2014）

〔7〕農林水産省：日本の食料自給力．閲覧 20200317．

https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/012_1.html（2020）

〔8〕江面浩：作物のゲノム編集と社会実装に向けて．生物工学会誌．97:713-715(2019)．

〔9〕江面浩：ゲノム編集技術：農作物分野での経緯と今後の方向．食品容器．61:7-11(2020)．

〔10〕農林水産省：2015年農林業センサス(2015)．

〔11〕野口 伸：S I P「次世代農林水産業創造技術」技術と経済 616、30-36（2018）．

〔12〕神成淳司（監修）：スマート農業、エヌティーエス、331 - 354（2019）．

〔13〕農林水産省：2015年農林業センサス

<参考資料1>審議経過

平成30年

1月30日 農学分科会（第1回）

役員の選出、今後の進め方について

話題提供「わが国の食料自給力の課題と展望」（下野委員）と意見交換

4月27日 農学分科会（第2回）

話題提供「日本の食料・農業を概観する」（生源寺委員）と意見交換

9月13日 農学分科会（第3回）

話題提供「二兎を追って二兎を得る-近未来の農業を考える-」（生源寺委員）および「穂海のご紹介と一農業者の考える水稻農業の未来像」（丸田協力者）と意見交換

11月19日 農学分科会（第4回）

話題提供「ゲノム編集技術」（江面委員）と意見交換

令和元年

6月21日 農学分科会（第5回）

話題提供「スマート農業の現状と今後の展望」（野口協力者）と意見交換

12月9日 農学分科会（第6回）

報告案について検討

令和2年

2月6日 農学分科会（第7回）

報告案について検討

6月11日 日本学術会議幹事会（第292回）

報告「日本における農業資源の潜在力を顕在化するために生産農学が
果たすべき役割」について承認

＜付録＞話題提供者の使用 pdf ファイル

1. 日本の食料・農業を概観する（生源寺委員）	24
2. わが国の食料自給力の課題と展望（下野委員）	31
3. 二兎を追って二兎を得る—近未来の農業を考える視点—（生源寺委員）	33
4. ゲノム編集技術により高速育種の時代が到来（江面委員）	35
5. スマート農業の現状と今後の展望（野口委員）	39
6. 穂海のご紹介と一農業者の考える水田農業の将来像（丸田氏）	42

日本の食料・農業を概観する

生源寺真一

福島大学農学系教育研究組織設置準備室

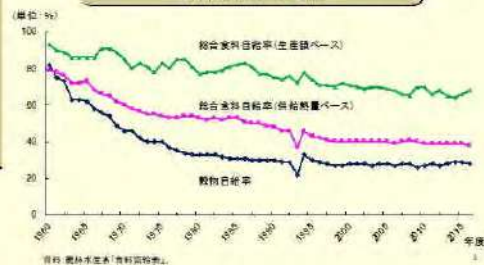
お話の構成

- 1) 経済成長と食生活の変化
- 2) 存在感を増した食品産業
- 3) 一律に論じられない日本の農業
- 4) 農業経営の新潮流
- 5) 農業の技術進歩と経済学
- 6) 技術進歩の新潮流

経済成長と食生活の変化

海外への依存度を高めた日本の食料

食料自給率の推移



経済成長で激変した食生活

1人当たり年間消費量の品目別推移(単位:kg)

年度	1955	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2015
米	110.7	114.9	95.1	73.8	70.0	64.6	59.3	54.8
小麦	25.1	28.9	30.6	32.2	31.7	32.6	32.7	33.0
いも類	42.6	39.9	16.1	17.3	20.9	21.1	19.6	18.8
でんぷん	4.6	6.5	8.1	11.6	15.9	17.4	16.7	16.0
豆	9.4	10.1	10.1	8.7	9.2	9.0	8.4	8.5
野菜	62.3	66.7	119.4	113.0	108.4	102.4	88.1	90.9
果実	12.3	22.4	38.1	26.6	28.9	41.5	30.6	29.5
肉類	3.2	5.2	13.4	22.5	26.9	28.6	29.1	30.7
魚類	3.7	6.3	14.8	14.5	16.1	17.0	16.6	16.7
牛乳・乳製品	12.1	22.2	50.1	65.5	69.2	94.2	88.4	91.1
食油脂	29.3	27.9	31.9	34.6	37.5	37.2	29.4	25.8
砂糖類	12.3	18.1	26.9	23.3	21.8	20.4	19.9	18.5
雑糧類	2.7	4.3	9.9	12.6	14.2	15.1	12.5	14.2

資料: 農林水産省「食料自給率」。
注: 1人1年当たり(昭和食料)。

健闘していた昭和の農業生産

農業生産指数の推移

	総合	米	麦類	豆類	いも類	野菜	果実	畜産物
1950-54年	100	100	100	100	100	100	100	100
1955-59年	117	107	78	73	82	123	142	151
1960-64年	120	84	27	64	60	136	164	206
1965-69年	129	99	25	49	59	141	209	241
1970-74年	129	84	44	49	63	145	199	280
1975-79年	124	87	56	67	70	147	194	307
1980-84年	129	81	36	40	60	137	172	313
1985-89年	122	79	26	38	56	129	161	297
1990-94年	115	70	40	45	63	121	160	286

資料: 農林水産省「農業生産指数」。
注: 各期間における指数の平均値(1950-54年=100)。

食料自給率:平成時代に事態は深刻に

- 昭和時代の食料自給率の低下は、主として食生活の大きな変化とこれを支えた飼料や大豆の大量輸入によって生じた現象。畜産物や野菜・果実などの成長で、全体として伸びていた昭和の農業。
- 1980年代後半以降、食生活の変化のスピードは鈍化し、減少傾向に転じた品目も。平成時代の食料自給率は横ばい状態に移行したものの、農業生産の縮小に歯止めがかからない点では、自給率が低下していた昭和時代よりも事態は深刻。

【参考】4パターンの食料自給力を推計

- 食料の自給力を左右するのは、農地の賦存量、農業技術の水準、農業生産を担う人材。2015年3月に閣議決定された「食料・農業・農村基本計画」は潜在的なカロリー供給力を4類型について推計。
- パターンA: 栄養バランスを一定程度考慮して、米・小麦・大豆を中心に熱量効率を最大化。
- パターンB: 栄養バランスを考慮せず、米・小麦・大豆を中心に熱量効率を最大化。
- パターンC: 栄養バランスを一定程度考慮して、いも類を中心に熱量効率を最大化。
- パターンD: 栄養バランスを考慮せず、いも類を中心に熱量効率を最大化。

【参考】低下している平成の食料自給力

食料自給力指標の推移



【参考】日本と欧米で大きく異なる食料消費

先進諸国の1人当たり食料消費量(2011年)

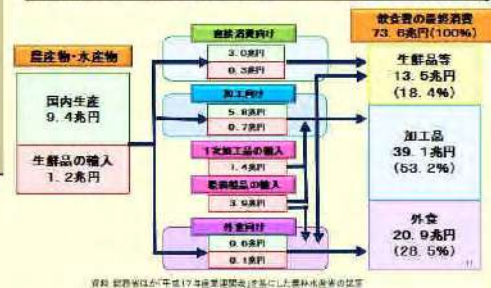
国・地域	総量	いも類	豆類	野菜類	果実類	肉類	卵類	牛乳・乳製品	魚介類	砂糖類	油脂類
アメリカ	107.3	0.0	0.3	113.1	100.2	117.0	13.8	282.7	31.6	30.5	33.0
カナダ	102.9	0.0	0.3	114.9	136.7	92.2	12.0	303.1	22.3	24.6	32.8
ドイツ	111.9	7.0	2.6	86.3	88.3	87.9	12.6	259.3	14.2	28.9	26.5
スペイン	91.1	82.4	9.6	123.8	91.5	53.1	13.6	205.4	42.4	23.4	54.7
フランス	126.5	54.6	3.2	103.6	116.1	88.7	12.5	304.9	34.6	34.6	23.8
イタリア	168.8	38.8	5.1	151.6	149.0	88.7	11.7	308.9	25.4	27.2	33.7
オランダ	90.9	34.5	2.4	83.8	109.3	72.7	15.7	263.5	23.8	44.1	18.8
スウェーデン	89.4	58.4	3.1	85.9	123.3	81.9	12.4	472.2	31.0	30.0	19.3
イギリス	115.4	100.8	4.3	94.1	128.4	82.5	10.5	280.5	19.0	33.8	20.3
スイス	109.3	42.0	2.4	100.2	136.9	74.7	10.4	305.9	17.4	53.8	24.4
オーストラリア	82.4	51.8	5.3	86.8	107.3	121.2	7.2	276.8	25.5	27.0	27.3
日本	103.3	22.2	3.8	104.7	50.8	44.9	19.8	68.6	51.4	18.0	16.6

資料：農林水産省「食料消費調査」
注：1人1年当たり摂取消費量。

存在感を増した食品産業

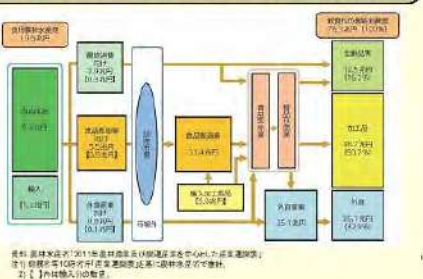
買い方・食べ方も変わった日本の消費者

農産物・水産物の生産から食品の最終消費に至る流れ(2005年)

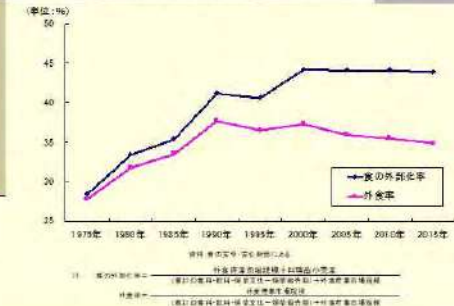


さらに減少した生鮮品への支出

農産物・水産物の生産から食品の最終消費までの流れ(2011年)



外食の増加から中食の増加へ



着実に増加した食品産業の働き手

農業・水産業と食品産業の就業人口

	1970年	1980年	1990年	2000年	2010年
農業・水産業	897	594	430	320	309
食品工業	809	643	723	804	792
食品流通業	100	115	130	145	112
飲食店	244	269	333	502	545
合計	1249	1229	1193	1124	1102
農業・水産業	66.0	45.1	37.3	28.5	28.0
食品工業	34.5	31.9	62.7	71.5	71.5
食品流通業	7.1	9.2	12.0	12.1	10.5
飲食店	16.3	24.1	26.8	34.9	31.3
合計	103.9	108.0	100.0	100.0	100.0
就業人口総数	9299	9681	8148	8208	8961

資料：国土交通省「労働力調査(国産品の経済学)」(第3版)「労働力調査」2010年のデータ
注1：10歳以上、15歳以上の労働力調査結果。
注2：10歳以上の労働力調査結果。

安定した雇用力を日本社会の基盤に

- 農業・水産業と食品製造業は地方に高密度に立地。概して大儲けはできないが、地域に密着して安定的な雇用力を発揮する食の産業は、次代の日本社会を支える基盤のひとつに。
- 明治期に始まる近代化の時代以降、農業・農村は商工業や都市部にマンパワーを送り出すことで日本社会の発展に貢献。成熟の時代を迎える中で、食の産業に対する期待は、地域密着型の雇用機会の提供を通じて社会の安定に貢献すること。

【参考】リーマンショック直後の業況感

企業の業況判断の推移（平成20年度食料・農業・農村白書から）（単位＝特約ポイント）

	2006				2007				2008				2009			
	3月	6月	9月	12月	3月	6月	9月	12月	3月	6月	9月	12月	3月	6月	9月	12月
全産業	5	6	6	8	8	7	4	2	▲4	▲7	▲14	▲24	▲46			
製造業	12	12	10	10	10	10	9	9	2	▲3	▲11	▲25	▲57			
食品製造業	▲6	▲3	▲2	▲2	▲5	▲1	▲2	▲4	▲5	▲3	▲5	▲9	▲14			
情報通信業	18	21	18	18	18	20	19	16	14	8	▲2	▲10	▲21			
飲食店・宿泊業	▲19	1	▲2	▲5	▲4	▲3	▲5	▲9	▲19	▲25	▲29	▲33	▲49			

資料：日本銀行「全国企業短期経営観調査」
注：全機械合計。「食品製造業」は「製造業」のうち「食料品」のこと。

16

【参考】長期的にも安定している食品産業



17

一律に論じられない日本の農業

18

健闘する農業・心配な農業

- 水田農業に代表される土地利用型農業と施設園芸や畜産などの小面積・集約型農業とは、生産性や農業経営の充実度に大きな開き。高齢化が顕著な水田農業とは対照的に、若者や働き盛りを確保している集約型農業。
- 土地利用型農業についても、北海道の畑作や酪農は急速な規模拡大を通じてEU農業に比肩するレベルを実現。条件さえ整えば、国際水準の成果を生む日本の農業者。

19

対照的な稲作と酪農、都府県と北海道

農業の規模（稲作と酪農、都府県と北海道）

	1960年	1970年	1980年	1990年	2000年	2010年
稲作付面積 (a)	55.0	52.2	49.2	47.3	44.2	40.7
乳用牛頭数 (b)	2.0	5.0	10.1	22.5	52.5	67.0
経営用地面積 (ha)						
都府県	0.77	0.81	0.82	1.19	1.21	1.43
北海道	3.94	5.36	5.10	10.0	14.3	21.5

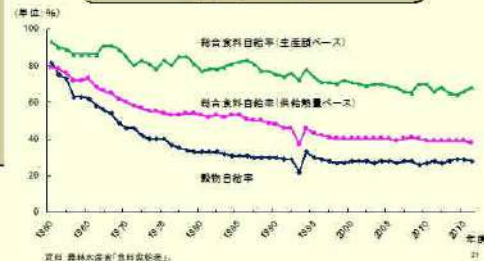
資料：農林水産省「農業センサス」。

注：2010年以降の経営用地面積は、乳用牛頭数・経営用地面積が20ヘクタール以上の農家は経営用地を所有する割合が90%以上の農家の数に占める。

20

海外への依存度を高めた日本の食料（再掲）

食料自給率の推移



21

高い生産額自給率は強い農業を反映

- カロリーのほとんどないレタスにも経済的な価値。野菜は近年でも8割に近い自給率を維持。
- 同じ品目でも国産品の価格が高い場合（例えばオーギービーフに対する和牛）、その品目の国内生産はカロリー自給率よりも生産額自給率に大きく貢献。
- 飼料の自給率計算上の扱いの違い。カロリー自給率の場合、畜産物自体は国産であっても、飼料の自給率の割合だけを国産とみなす計算方式。養豚や養鶏の増産は、飼料の自給率が10%程度のため、全体のカロリー自給率を引き下げる結果に。

22

最大の課題は水田農業

- 高齢化が顕著な小規模水田農業。モンスーンアジアの歴史と文化を踏まえながら、現代の農業技術と経営者能力を存分に発揮できる水田農業のあり方を、明確なビジョンとして描き出すことが大切。
- 新大陸型の大規模農業を実現することは不可能であり、望ましいことにもあらず。悩みの深い日本の食料・農業事情には、経済成長のステージに入った多くのアジアの国々がこれから直面する課題を先取りしている面も。

23

貸し出される農地は確実に増加

水田作農家の規模別概況（2006年）

作付面積	水田作付 農家戸数	同右割合	経営主の 平均年齢	年々等収入	農作物等価	農業所得	総所得
	戸数	%	歳				
0.5ha未満	591	42.2	66.7	239.2	256.5	-9.9	485.8
0.5～1.0	432	30.8	65.7	209.4	282.0	1.5	502.9
1.0～2.0	246	17.5	64.6	153.8	246.4	47.6	447.8
2.0～3.0	67	4.7	62.3	110.2	218.5	120.2	448.9
3.0～5.0	39	2.8	61.4	113.2	180.8	191.0	485.0
5.0～7.0			58.3	68.2	147.5	304.5	520.2
7.0～10.0	21	1.5	58.7	77.9	115.9	375.6	569.4
10.0～15.0	5	0.4	55.7	48.9	151.1	543.3	743.3
15.0～20.0			52.6	45.1	69.7	707.4	822.2
20.0ha以上	2	0.1	53.9	52.8	116.2	1,227.2	1,396.2

資料：農林水産省「農業経営統計調査」（農林経営の実態調査別統計）、「農林業センサス」
注：農業にタッチしない世帯員の所得は、一部を除いて表の所得の欄には含まれていない。

34

農業経営の新潮流

35

食品産業にウイングを広げる農業経営

- 1ヘクタールの水田で一家の生計を維持できたのは戦後まもない時代のこと。日本のような高所得社会において、ある程度の農地面積の確保なしには職業としての土地利用型農業は成立せず。同時に経営の厚みを増す取り組みも大切。
- 集約型の品目との複合経営は多くの先進的な水田作経営が実践。川下の食品産業（加工・流通・外食）の要素を取り入れる経営の多角化も有力な戦略。食品産業との良好なつながりは、水田農業のみならず日本農業全体の課題。

36

再び消費者に接近する農業経営

- 農産物の加工には、加工による付加価値を確保するだけでなく、小分け包装と情報添付によって、農産物を生産者みずからが値決めできる製品に変えるという意味も。この点は農家レストランにも共通。
- 食事の提供や農産物の販売・加工を手がけ、フードチェーンの川下をカバーすることで、農業経営は消費者に接近。顧客のニーズに向き合うことで鍛えられる農業経営の判断力や構想力。ただし、安易な気持ちからの多角化は大怪我のもと。

37

問われる農業経営の情報発信力

- 安全・安心に関わる属性、栄養素や機能性に関する属性など、消費者が食品に求める情報の範囲は拡大。情報発信の有形・無形のコストが格段に小さくなったことで、農業経営には生産現場からの情報発信力のレベルが問われる時代に。
- 農業経営は生産物の品質の高さをアピールすることと併せて、その生産物を作り出した生産工程の品質の高さをメッセージとして伝達することも可能に。生産工程の品質の高さの典型が環境に配慮した農業。

38

【参考】現代の食品は経験財プラス信用財

- 経験財：消費体験によって消費者が品物の中身を判断できる商品
- 信用財：消費体験だけでは消費者が真の品質を知ることができず、信頼できる情報を考慮して判断する商品
- 探索財：消費体験を経ることなく、事前の情報の収集によって品物の中身を判断できる商品

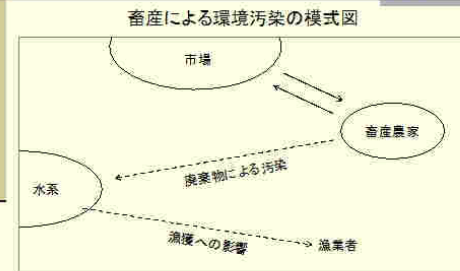
39

【参考】経済政策論における環境問題

- 経済学では生産活動による環境負荷を外部不経済として認識。外部不経済とは、市場経済の取引関係の外側で生じている負の影響関係のこと。良い副産物が提供されている場合には外部経済。
- 市場経済の外側で生じている問題に適切に対処するとすれば、ここは政府の出番とみるのがオーソドックスな経済政策論。みずから環境問題を解決する術を持たない市場メカニズム。
- 政府による具体的な取り組みには規制・課税・補助金など。技術開発もしばしば重要な役割。

40

【参考】外部不経済としての環境への負荷



41

【参考】外部不経済の内部化

- 環境保全型農業に向けた取り組みとして、経済的なインセンティブやペナルティを与える政策、食料増産と環境保全の両立に挑戦する技術開発に加えて、消費者に働きかける情報発信の領域も重要な役割を果たすことに。
- 情報による消費者への働きかけが環境保全型農業の拡大に効果を発揮するならば、外部不経済の是正策が市場に内部化される点で、地味であり、分権的ではあるが、社会システムのイノベーションの意味を持つことに。

32

変わる農業の規模概念

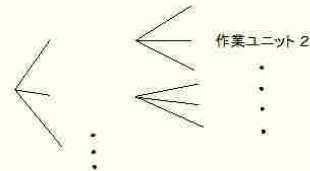
- 農業経営の規模を農地面積で測るのが伝統的な考え方。これは今日でも土地利用型農業の多くの家族経営には有効。けれども、労働多投型の作物を組み合わせ、食品産業の領域にウィングを広げた農業経営については、面積のみで単純に規模を判断することは不適切。
- 多くの役員・職員からなる法人経営の場合、農業機械のワンセットに対応する作業ユニットを複数稼働させるケースも珍しくない時代に。伝統的な家族経営では作業のユニットと経営のユニットが一致。

33

広域で農場間連携の動きも

- 花きや野菜などの分野では、異なる地域に立地する複数の農場の連携を通じて、幅のある生産体制の創出や農産物の出荷体制の強化に取り組む例も。近未来の農業は作業ユニット・農場ユニット・農業経営の三層構造として把握することに現実味。
- 農業経営として単一の事業体を形成する方向とともに、強弱さまざまなレベルで農業経営間の連携が図られる方向も。どこまでを経営に内部化し、どれほどのスケールの経営を目指すかについて、一律の基準を当てはめることが困難な時代に。

34



職業として選ばれる農業

- 2016年の44歳以下の新規就農者1万9020人のうち、39%が農業法人などで就農した雇用就農者であり、12%は農地や資金を調達して農業を始めた起業型の新規参入者。大半は非農家出身者。
- 家族経営の継承においても着実に進む変化。農業は長男が継ぐものという通念は過去のもの。珍しくなくなった長男以外が就農するケース。兄弟姉妹やその配偶者による大型の家族経営も誕生。現代の農業は職業として選ばれる産業。

35

若者だけではない新規就農者

- 2016年の新規就農者の50%を占めた60歳以上層。大半は自分の家で農業に取り組むかたち。典型的には定年を機に農業に本腰を入れるケース。

	新規就農者	うち自営農業就農者	
40歳未満	15980人	7350人	46%
40代	6720人	4060人	60%
50代	7800人	6320人	81%
60歳以上	30300人	28320人	93%
合計	60150人	46040人	77%

「平成28年新規就農者調査」による

37

高齢化社会における農業の役割

- 中高年の新規就農は自身の健康寿命延伸につながり、中山間地域などでは耕作放棄防止の役割を果たすことも。若者や働き盛りのような規模やパワーを期待するのは無理であっても、生きがいを実感しながら地域社会の重要な機能を担うケースも。
- 小規模ながら生産した野菜を学校給食に提供している定年退職者のグループ。集落の営農組織の主要なメンバーとなり、現役時代の経験を活かしてマーケティングに手腕を発揮する人材。農産物直売所に欠かせないのも中高年世代の農業。

38

農業の技術進歩と経済学

39

経済成長のふたつの源泉

- 経済成長の源泉の第一は資本ストックの蓄積。資本ストックは工場や機械などの私的な資本設備から道路・港湾といった社会的なインフラまでをカバー。企業や政府の投資によって資本ストックの水準が量・質両面で向上するとき、労働生産性上昇による国民所得の増加が実現。
- 経済成長の第二の源泉が技術進歩。技術進歩により、同量の労働力や資材の投入で従前よりも多くの生産物を確保。これが技術進歩の経済学的な定義であり、やはり国民所得の増加が実現。

経済成長に大きく寄与する技術進歩

- R.ソローによるパイオニア的な実証研究(1957)は、経済成長に対する技術進歩と資本ストックの蓄積の関係を定式化し、1909年から1949年のアメリカの非農業部門について貢献度を測定。

労働当たり総生産増加率

=技術進歩率+労働当たり資本ストック増加率

- 技術進歩が経済成長の87.5%を説明。経済に関心を寄せる広範囲の人々に強いインパクト。研究開発への関心が高まり、多くの研究が続くことに。農業経済学の分野でも多彩な実証研究。

日本農業の成長と技術進歩の貢献

日本農業の成長と生産性向上の寄与率

	成長率(%/年)			成長に対する相対的寄与率(%)	
	総生産(1)	総投入(2)	総生産性(3)	投入(2)/(1)	生産性(3)/(1)
I 1880~1900	1.5	0.3	1.2	20	79
II 1900~1920	1.8	0.8	1.0	46	54
III 1920~1935	0.9	0.5	0.4	56	44
IV 1935~1945	-1.8	-1.1	-0.8	-59	-41
V 1945~1955	3.3	2.2	1.1	67	33
VI 1955~1965	3.2	0.4	2.8	14	86
VII 1965~1980	0.3	-1.1	1.4	-444	544
VIII 1980~1995	-0.6	-2.1	1.5	-362	262
全期間: 1880~1995	1.0	0.0	1.0	0	100

資料: 速水佑次郎・神門善久『農業経済論』岩波書店、2002年。

農業生産を左右する土地生産性と土地装備率

- 農業経営の目標は高い労働生産性。農産物をY、土地面積をA、労働力をLで表すと、農業の労働生産性Y/Lについて次の恒等式が成立。

$$Y/L \equiv Y/A \times A/L$$

- 右辺の第1項Y/Aは土地面積当たりの農産物(土地生産性)、第2項A/Lは労働投入量当たりの土地面積(土地装備率)。後者は農業の従事者当たり、どれほどの面積を耕作できるかの指標。

BC技術とM技術

- 土地生産性を左右する品種や栽培法などの技術はBiological and Chemical(生物化学的)技術、略してBC技術。一方、高い土地装備率につながる農業技術はMechanical(工学的)技術、略してM技術。近代の農業経済学ではBC技術とM技術の二分法は標準的な用語法。
- 恒等式Y/L≡Y/A×A/Lのうち、Y/Aの増加につながるのがBC技術であり、A/Lの増加につながるのがM技術。視点を変えると、BC技術は土地節約型、M技術は労働節約型。

経済環境と技術進歩の方向

- 戦後の日本は極度の食料不足とともにスタート。戦前も農業技術開発の基本方向だった食料増産志向が一段と強く求められることに。増収につながる品種や栽培法、すなわちBC技術の開発は、食料不足の時代のニーズにマッチした新技術。
- 時代の推移とともに、食料増産に対する強いニーズに陰り。増産型の新技術の普及が食料供給の増加をもたらす、食料消費にも大きな変化。1970年には減反政策。稲に関する研究開発の中心は良食味品種にシフト。

経済環境と技術進歩の方向(続き)

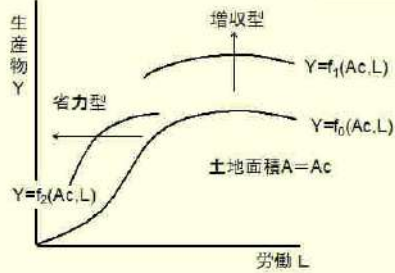
- 高度成長・安定成長の時代に高まった労働節約型の農業技術体系への期待。各種の機械・設備が導入されるとともに、機械・設備の大型化・性能改善も進展。省力化要請の背景には第2次産業、第3次産業の旺盛な労働力需要。
- 求められたのは少ない労力で耕作が可能なM技術の革新と普及。象徴的な存在が1970年代から普及した田植機。価格の上昇した労働を節約する点で、経済成長下のM技術の普及は、市場のシグナルに対する農業技術の合理的な適応。

稲作の収量と労働時間の推移

	収量/10a		労働時間/10a	
	実数	指数	実数	指数
1950年	359kg	100	205時間	100
1960	440	123	172	84
1970	484	135	125	61
1980	489	136	67	33
1990	533	148	46	22
2000	539	150	34	17
2010	511	142	26	13

資料: 農林水産省「米及び麦類の生産費」。

【参考】技術進歩:増収型から省力型へ



技術進歩の新潮流

現代農業の技術進歩を考える基本視点

- 過去の農業の技術進歩の方向が大きくは経済環境に規定されてきたことを考慮するならば、潤沢になることが見込まれる資源を活用し、希少化する資源を節約するタイプの技術進歩が合理的。
- もうひとつの考慮事項は、科学技術の進歩や農業以外の産業の技術進歩のなかから、農業の分野に応用可能な新技術を見極めること。この観点からは情報通信技術 (ICT) がパワフルな新技術であることは、すでに農業の現場で実証済み。

ICTと現代の農業技術

- 先進的な施設園芸では、各種のセンサーで外部・内部の気温やCO₂濃度などが把握され、自動かん水装置などによって栽培環境を精密にコントロールする仕組みが現実のものに。
- 土地利用型農業にもICTの機器の活用が徐々に拡大。借地の増加によって圃場が数百枚に及ぶケースも現れており、作業進捗の詳細データの入力により、営農状況を一元的に掌握・分析するシステムが実用段階に。ソフトウェアの研究開発には民間企業も参入。

ICTと現代の農業技術(続き)

- 農業の技術進歩の経済学的なタイプ分けに従うならば、ICTの利用はM技術の進歩であり、労働節約的な技術進歩。ただし、従来の労働節約型の技術進歩が筋肉労働、とくに負担の重い作業の軽減が目的だったのに対して、ICTによって節約されるのは情報の受信・判断をめぐる頭脳労働。
- 希少化した資源を節約することは経済合理的。さらに節約された資源、この場合は頭脳労働を高い付加価値を生む領域に投じることが、個人としても、社会としても有益。頭脳労働の新領域は？

潤沢化する資源・希少化する資源

- 潤沢化する資源にはたとえば高齢者の労働力があり、アシスト・スーツの開発は潤沢な資源の利用を支える役割を果たすことに。「いつまでも農業を続けられる喜びを生き甲斐にしたい」が農機具メーカーの開発者のメッセージ。
- 消費の減退に歯止めがかからない米を念頭に置くならば、日本の水田にも潤沢な資源としての性格がいよいよ強まることに。現時点では飼料米の生産への政策的な誘導が続いているものの、長期的な見通しには不確定要素も。

潤沢化する資源・希少化する資源(続き)

- 「地方消滅論」が議論を呼び起こす中で、農村自体が希少化しつつあるとの認識も。西日本の農山村を中心に、田園回帰の流れも話題に。
- 農村が身近な存在であるからこそ、多くの人々がいわゆる農業の多面的機能を実感できることに。アクセスの容易な農村はヨーロッパと日本の国土に共通する要素であり、新大陸諸国にはない文化的なバックグラウンド。

わが国の食料自給力の課題と展望

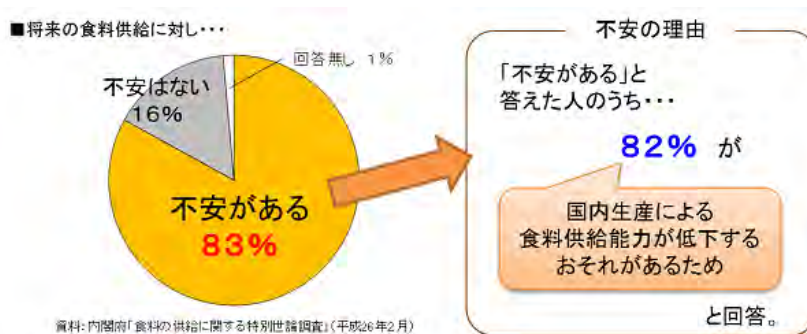
—いざというとき生存に必要な熱量を供給できるか？—

【背景】

生産基盤の弱体化：農業従事者の高齢化と減少，耕地減少，農業機械の老朽化，匠の技の継承不足

不安定な国際情勢：気候変動による生産の不安定性，中国の台頭や途上国の食料需要拡大による輸入の競合，限定された輸入先の国（米国，豪州，加奈陀など）

国民の強い関心：食料供給に関して 83%が不安があると回答（「食料の供給に関する特別世論調査」の概要 平成 26 年 2 月 20 日 内閣府政府広報室）。



（農林水産省ホームページより，2018/1/7，本文を文末に添付）

【論点】

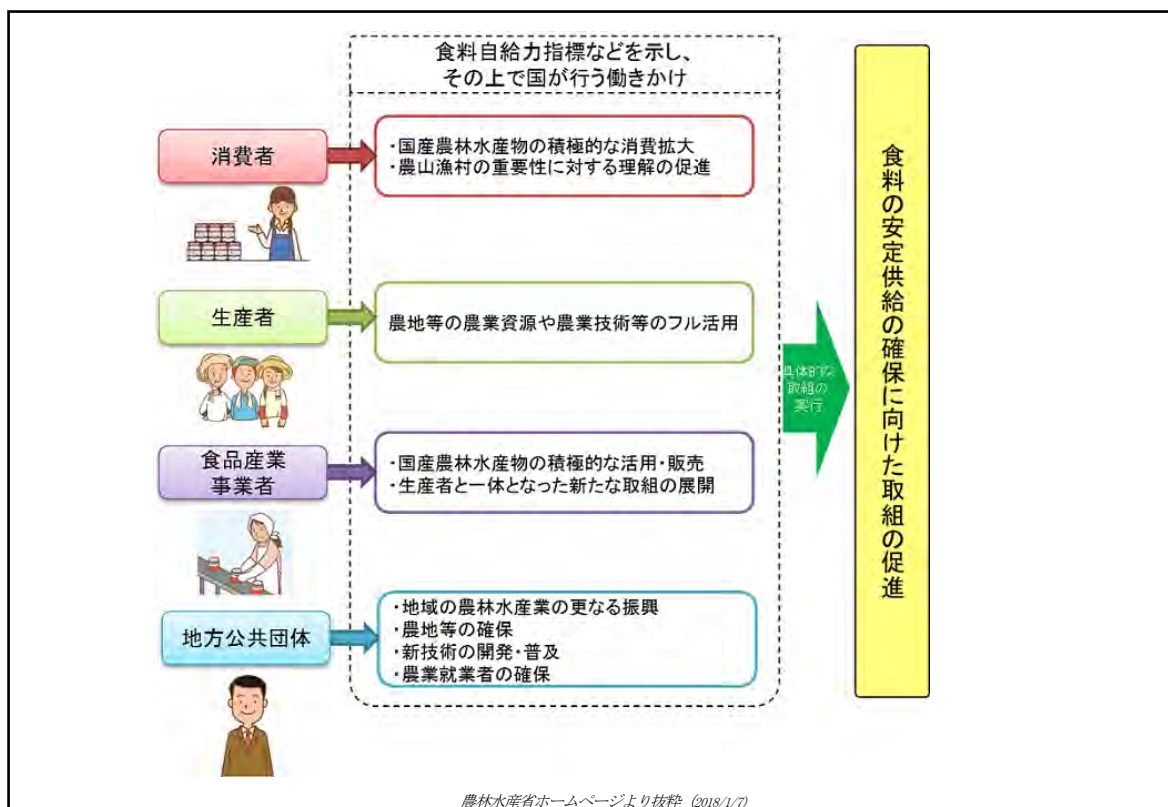
1. 食料供給力：いざというとき必要な食料を供給できる生産基盤（人材，技術，耕地，機械，種子等）はあるのか？

現状：不十分な評価にとどまり，精査する必要あり

- ✓ 農林水産省の試算では可能：ホームページ掲載の「食料自給力指標」((a) 畑地の面積に普通畑 (116 万 ha) に加えて樹園地 (31 万 ha)，牧草地 (62 万 ha) を加えている。(b) 2 毛作，2 期作導入) → 過大評価：畑地について樹園地は伐根などの整備，また牧草地でも，普通畑と同程度の生産力を期待。水田裏作など現在ほとんど行われておらず播種機械や生産技術，種子などの生産基盤は限定的。
- ✓ 下野の試算 (2014) では不可能：現状の単作中心で水田 (250 万 ha) と畑地は普通畑 (116 万 ha) のみを利用で評価すると不可能，国際比較からアフリカよりも低い食料自給力 → 過大評価：種子（種芋）など基盤が整っている仮定した条件。
- ✓ 精査すべき項目：そのような事態の発生の可能性（国際情勢の整理），事態発生の際の影響（時間を半年とするか，1 年とするか）？ 冷害を含め気候変動の影響はどこまで考慮するか？ 流通経路の対策は？ 適正な備蓄は？

2. 具体的な対策は？：食料供給力の向上に向け

- ✓ 下記の農林水産省の提言を超える根本的な解決策はないか？
- ✓ 個別事例（市町村レベル、農家レベル）でよい取り組みはないか？ さらなる国民の関心向上（震災後、「絶対」という神話はない）の方策？
- ✓ 案：耕地と機械という生産基盤の維持の方策，リタイアした高齢者と若手のコントラクターのタッグによる耕地整備（耕起・播種前線が日本を北上，収穫前線は南下）
- ✓ メッセージ 食料自給力の危機的な状況を国民に広く認識



【よくあるご質問】

- Q. 食料自給力指標は、輸入が途絶した場合など、いざという時にどれだけの食料を生産できるかという能力を見る指標なのですか？
- A. 違います。食料自給力指標は、我が国農林水産業が持つ「底力」を見るための指標です。計算上、作付転換に要する期間を考慮しない等の大胆な前提を置いているため、いざという時を考えたものではありません。
- Q. では、実際に不測の事態が起こったらどうするのですか？
- A. 実際の不測の事態に対しては、「緊急事態食料安全保障指針」というマニュアルに従い、具体的な対応を行うこととしています。

農林水産省ホームページより抜粋 (2018/1/7)

食料自給力指標 (2) 試算上の前提

食料自給力指標の試算に当たっては、食料自給力指標が現実とは切り離された潜在生産能力を示すものであることを考慮し、試算上の前提について以下のとおり設定します。

① 生産転換に要する期間は考慮しない。② 農林水産業生産に必要な労働力は確保されている。③ 肥料、農薬、化石燃料、種子、農業用水、農業機械等の生産要素（飼料は除く。）については、国内の農林水産業生産に十分な量が確保されているとともに、農業水利施設等の生産基盤が適切に保全管理・整備され、その機能が持続的に発揮されている。

食料自給力指標の手引き (平成 29 年 10 月 農林水産省)

二兎を追って二兎を得る ー近未来の農業を考える視点ー

生源寺眞一
福島大学食農学類準備室

二兎を追うことの大切さ

これまでにいただいたメールを改めて拝読し、とくに二兎を追うことの大切さを再認識しているところです。産業としての効率性・競争力と地域社会の持続性、あるいは豊かな食生活とミナモトの食料確保（食料安全保障）、さらには農業の生産性の向上と環境への負荷の低減は、いずれも二兎を追う問題という構図のもとにあると思います。

私見では、この場合に課題は二つあって、第一に、二兎を追う必要のある問題の構図を社会に理解してもらうことであり、第二に、二兎を追うことが可能なフロンティアを拡大する点でサイエンスの技術開発力を追求することでしょう。二兎を追うとは、別の表現を行うならば、二つの目的の実現のあいだにトレードオフ関係が存在することにほかならず、トレードオフとして立ち現れる制約条件のフロンティアを広げるところに、サイエンスの役割があると見ることができます。

＜＜事前のメール協議の送信文から＞＞

1

二兎を意識した「持続可能な開発」コンセプト

現世代と将来世代のニーズを満たす

Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.

環境と開発に関する世界委員会報告書原文より

持続可能な開発とは、将来の世代の欲求を充たしつつ、現在の世代の欲求も満足させるような開発を言う。

大来佐武郎監修の邦訳より

2

近年の「持続可能な開発」は三兎を追う？

その後、1992年に開催された国連環境開発会議（通称地球サミット）等を経て、持続可能な開発概念の中では、環境保全と経済成長に加えて、途上国の貧困や教育など人間の社会的側面の充実の重要性が指摘されるようになりました。環境・経済・社会の3要素は、持続可能な開発を支えるトリプル・ボトムラインとも言われています。

国立環境研究所・亀山康子氏の解説による

トリプル・ボトムラインは、もともと持続可能な社会づくりに必要な企業の評価視点として、1990年代後半にイギリスで提唱された考え方。

3

複数の目的のあいだの関係性

- 複数の目的のあいだには、一方の達成が他方を副産物としてもたらす一石二鳥の関係も。食料・農業・農村基本法による農業の多面的機能の規定には一石二鳥の色彩。

（農業の多面的機能とは）国土の保全、水源のかん養、自然環境の保全、良好な景観の形成、文化の伝承等農村で農業生産活動が行われることにより生ずる食料その他の農産物の供給の機能以外の多面にわたる機能。

食料・農業・農村基本法第3条より

4

複数の目的のあいだの関係性（続き）

- 複数の目的のあいだにはしばしばトレードオフ、すなわち「あちらを立てれば、こちらが立たず」という関係が成立。
- そもそも限られた資源で複数の目的を達成することには難しさ。あるいは、一方の目的の達成に貢献する手段が他方の目的にはマイナス要因として働くことも。高収量のための肥料の投入が近隣の水質汚染を招くといったケースが後者の例。

5

二つの目的間のトレードオフ

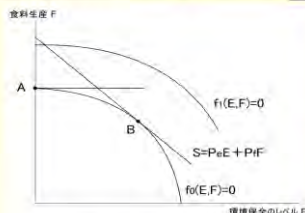


図3 環境保全と食料生産

生源寺「未来と向き合う農業」安田弘弘ほか『農業入門』より

6

二兎を得るために科学に何ができるか

- 二つの目的達成のあいだのトレードオフ関係を把握することが二兎を追う出発点。一定の資源とその時点で利用可能なテクノロジーによって、二つの目的をどの程度達成できるかを把握。前の図であれば、関数 $f_0(E, F) = 0$ を特定する作業。
- 二つの目的に対する社会の評価（ P_F や P_E で表示）が変化することで、目的達成度の最適な組み合わせも変化。制約条件としての $f_0(E, F) = 0$ のもとで、目的関数 $P_F E + P_E F$ を最大化する最適点に対応。

7

二兎を得るために科学に何ができるか(続き)

- 環境保全がまったく評価されていないならば ($P_0 = 0$)、食料生産が最大化される点Aを選択。環境に対する評価が高まることによって、最適な選択は例えばAからBにシフト。
- 科学に期待されているのは新技術の開発。ただし、この場合の技術開発とは実現可能なフロンティアを $f_0(E, F) = 0$ から $f_1(E, F) = 0$ へと広げること。

8

二兎を得るために科学に何ができるか(続き)

- 以上の概念上のフレームワークは、異なる目的のセットについて、農場レベルから地球レベルまで想定することが可能。
- 技術進歩はフロンティアの外側へのシフトとして把握されているが、シフトの方向性や大きさは目的に対する社会の評価の推移によって左右される面も(誘発的技術進歩仮説の拡張)。評価の高くなった目的の達成に注力することは自然な流れ。

9

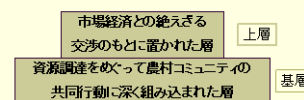
日本の農業・農村で留意すべき要素

- 日本の農業、とくに水田農業は二階建て。市場経済との絶えざる交渉のもとに置かれたビジネスの上層と、地域の農業インフラを支えるコミュニティの共同行動のもとで機能してきた基層。
- 共同行動の典型は農業用水路の維持管理活動や公平な用水配分のためのルールの発動。農道や公民館の維持管理も共同の力によるところ大。共助・共存の仕組みには、都会が学ぶべき農村の文化的資産としての側面も。

10

水田農業の基層には日本型コモンズ

- 農業用水に典型的な地域資源の共同利用システムは日本型のコモンズ。利己的な行動によって自壊することなく、長期にわたって持続。ローカルなコモンズの知恵と経験をグローバルに活かすことも人類の課題。



11

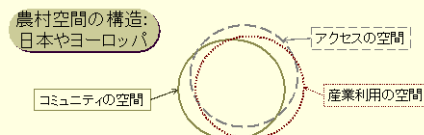
隣り合わせの都会と農村

- 農耕景観や伝統文化の継承など、農業の多面的機能が日本やヨーロッパで高い関心を呼んでいる背景には、地域に多くの非農家住民を擁し、域外から多くの訪問者を受け入れる農村空間の構造。ユーザーあつての多面的機能の価値。
- 例えば農業用水には歴史の教材としての価値も。近隣に多くの非農家住民が居住し、都市住民も容易にアクセスできることから、多くの人々が溜池や用水路に親しむことが可能に。

12

農村空間の構造には旧大陸に共通点

農村の存立構造という点で、旧大陸の国々には共通項。自然の産業的利用の空間、アクセス可能で人々がエンジョイできる自然空間、さらには非農家住民も含んだコミュニティを支える居住環境としての空間が重なり合う構造。多目的に利用されているため、秩序だった空間利用や良好な景観形成には苦勞を重ねることに。



13

【参考】合衆国や豪州では？

合衆国の中西部や豪州のような開発の歴史の浅い国・地域では、自然資源がなお豊富なこともあって、自然の産業的利用の空間である農場と、国民のアクセスの対象としての自然空間(典型的には国立公園)は概して分離されて存在。日常的な交流の場も、農場からは距離のある小さな町にあるのが普通。



14

筑波大学
University of Tsukuba

ゲノム編集技術により高速育種の時代が到来

江面 浩

筑波大学・生命環境系
つくば機能植物イノベーション研究センター

2018.11.19@農学分科会

1. 農作物の品種改良技術とゲノム編集技術
2. ゲノム編集技術の原理
3. ゲノム編集技術で開発したトマトほかの事例
4. ゲノム編集農作物の利用ルールを巡る最近の動向

1. 農作物の品種改良技術とゲノム編集技術

農作物の品種改良技術とゲノム編集技術の関係は？



- ゲノム編集は狙った遺伝子に精確に迅速に変異を導入する技術である。
- 農作物の多様な品種改良技術の中の一つである。
- ゲノム編集技術で出来ない品種改良もある、例えば改良する遺伝子が見つからない場合など。
- エリート品種(いつも食べている品種)のピンポイント迅速改良に向いている

ゲノム編集技術を使えば時間と手間のかかる戻し交雑と固定作業をスキップできる

2. ゲノム編集技術の原理

ゲノム編集は、対象となる農作物に既にある目的遺伝子を正確に探し出す技術と探し出した遺伝子に変異を入れる技術を組み合わせた遺伝子変異導入技術

- 目的遺伝子に変異を導入することで機能をチューニングする。
- 作物の重要な形質を制御する遺伝子が明らかになっていることがゲノム編集技術が使え前提条件。

人工制限酵素を用いたゲノム編集技術について

人工制限酵素(CRISPR/Cas9など)によるゲノム上の標的部位的切断

人工制限酵素→ゲノム上の標的部位(遺伝子)を切断するハサミ

生物の働き: DNA切断修復

非相同末端結合
間違いがちな修復

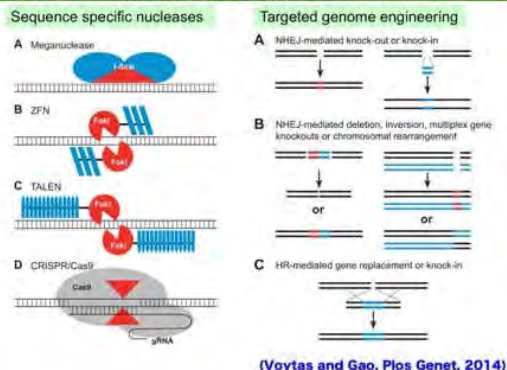
相同組換え修復
正確な修復

削り込みによる変異導入
一塩基挿入による変異導入
塩基置換による変異導入

二重鎖切断前と配列が同じ
遺伝子の改変は起こらない

ゲノム上の標的部位(遺伝子)を改変できる!!

様々なゲノム編集技術が開発されてきた



人工制限酵素 CRISPR/Cas9システム

Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR)

CRISPR/Cas9

1987年 石野 良純ら 大腸菌で反復配列発見

2002年 ルード・ジャンセンら反復配列をCRISPRと命名

2009年 エマニエル・シャルパンティエが化膿連鎖球菌ゲノム上で2つのRNAとCas9タンパク質が細菌の免疫システムで重要な役割を果たすことを発見

2012年 エマニエル・シャルパンティエ, ジェニファー・ダウドナがCRISPRによるゲノム編集の可能性に気づく化膿連鎖球菌のCRISPR/Cas9を実用型に改変

ゲノム編集技術を身近にしたCRISPR/Cas9システム

Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR)

配列の下流に5'-NGG-3' (N=A, T, G, C)が必要

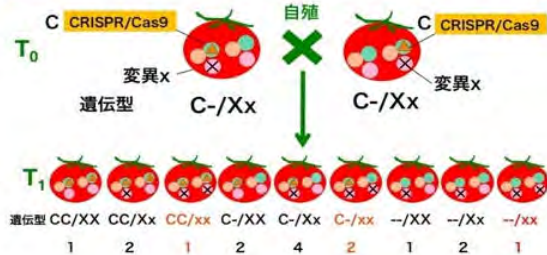
① sgRNAが標的配列相補的に結合

② Cas9がNGGを認識し、3塩基下流を切断

③ DNA修復エラー

(Wei et al. 2013)

CRISPR/Cas9が1遺伝子挿入される。CRISPR/Cas9遺伝子をCと表す
遺伝子Xへ変異が挿入される。遺伝子XをXと表し変異が挿入されたものをxとする



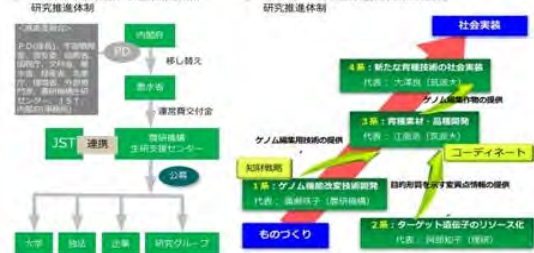
武汉大学

○我が国ではゲノム編集作物の開発が国プロ（例えば、SIP）として進められている。

○基盤技術開発では後塵を排したが、農作物開発では世界のトップグループ、我が国の動向を世界が注目。

○ 現在、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（ＳＩＰ）の枠組みの下、大学や他府省研究機関の協力を得て、①国産ゲノム編集技術等の開発（１系）、②ターゲット遺伝子のリソース化（２系）、③画期的な新品種の開発（３系）、④社会受容を促進するためのアウトリーチ活動等（４系）を推進中

- SIP/次世代農林水産業創造技術 ○ SIP/「新たな育種技術体系の確立」



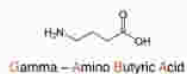
全体目標



国内における需要創出、海外輸出

γ-アミノ酪酸：GABA

4炭素非タンパク質構成アミノ酸
動物では、抑制性の神経伝達物



健康機能性成分として注目されている

鞋盒高血压者
通常高血压者
血压上昇抑制

ストレス緩和

高血圧症は世界に10億人
日常的な“食”生活を通じて
高血圧予防するのに有効な成分

リラックス効果

Figure 1 is a line graph showing the change in average blood pressure (mmHg) over 14 weeks for two groups: GABA intake group (open circles) and control group (filled circles). The Y-axis represents average blood pressure (mmHg) from 5 to -25. The X-axis represents time in weeks from 0 to 14. A horizontal arrow labeled 'GABA 摂取期間' (GABA intake period) spans from week 0 to week 14. The GABA group shows a gradual decrease in blood pressure, while the control group shows a more significant decrease starting at week 4. Statistical significance is indicated by asterisks (*, **).

Week	GABA Intake Group (mmHg)	Control Group (mmHg)
0	0	0
2	-2	-4
4	-2	-10
8	-4	-9
12	-5	-10
14	-6	-7

発酵乳に含まれる10-12mgのGABAを12週間摂取することにより、血圧抑制効果が得られた。(ヒトでの試験)

The diagram illustrates the metabolic pathway of GABA synthesis and breakdown. It starts with Glutamate, which is converted to Glutamate semialdehyde. This intermediate is then converted to GABA by the enzyme GAD (GABA synthase). GABA is subsequently broken down by GABA-T (GABA transaminase) into Succinate semialdehyde, which enters the TCA cycle.

これまでの知見から、...
GABA分解酵素の抑制よりも**GABA生合成酵素**の活性化が
GABAの安定的な蓄積に効果的であることが示されている

定常時	ストレス環境下 (カルシウムイオン過多)
活性中心はふたで覆われている GABA生成酵素活性OFF	ふたが外れ 活性中心がむき出しになる GABA生成酵素活性ON → GABA生成促進

→ 栽培環境によるGABAの蓄積の増減を引き起こす？

● 英國大學

- 1

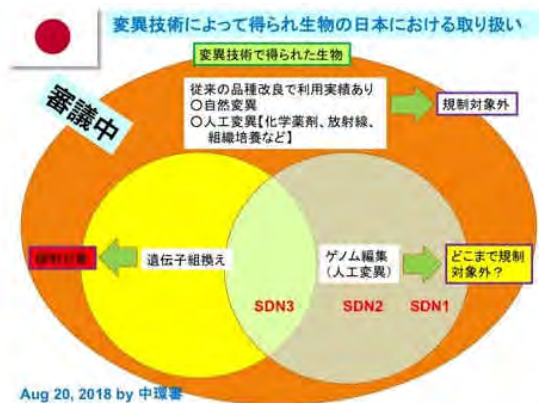
Table 1 CRISPR-edited plants in the pipeline that USDA will not oversee

Source: USDA

農水省・新たな育種技術研究会資料(H29.09)より改変

(Nonaka et al., Sci Rep, 2017)

$n=5$, Turkey HSDa
 $P^* < 0.01$



今後の課題②：社会受容の進め方

ゲノム編集技術の社会調査に基づく産業界への出口検討・マーケティング

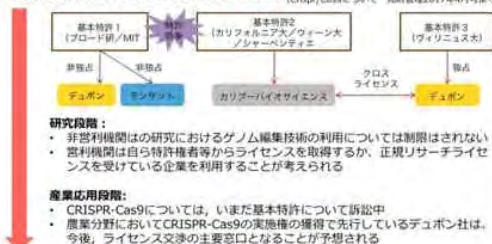
- 消費者に対するベネフィット認知研究により、実際の作物を用いて、マーケティング戦略を立てる
- SIP等において作出されたゲノム編集作物を、民間企業と共同し社会実装を行う
- 規制当局への承認の制度化

実践的サイエンス・コミュニケーション手法の確立とコンテンツ開発およびその効果の検証

- レギュラトリー・データ等に基づくリスク・コミュニケーションの展開サイエンスカフェコーディネーター養成とコミュニケーションの加速化
- 食への信頼感の醸成
 - 情報開示組織の連携
 - 研究開発段階からの積極的なコミュニケーションの実施
 - 研究者によるアウトリーチ活動の強化 等

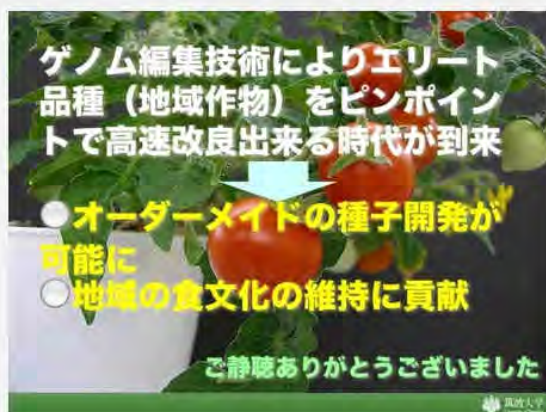
今後の課題③：ゲノム編集技術の活用に関する知財戦略

ゲノム編集技術に関する知財の状況把握（進行SIP）（CRISPR/Cas9について 知財管理2017年4月号より）



社会実装のための具体的知財戦略とその実行事例構築

- ① 先行の基盤的知財の活用
- ② 国産技術の開発と基盤的知財との連携
- ③ 知財戦略の実行事例構築とそのための産官学連携拠点の整備



スマート農業の現状と 今後の展望

北海道大学大学院 農学研究院
野口 伸

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム

1

トピック

- SIP「次世代農林水産業創造技術」
- 今後のスマート農業の展開について

2

Society 5.0とは？



3

SIPが目指す我が国農林水産業の将来像

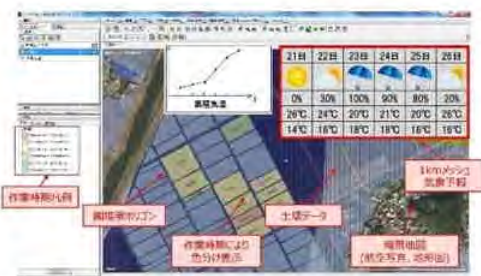
- 日本の農林水産業の現状**
- 基礎的農業従事者の減少（労働人口の17.5%）
 - 基礎的農業従事者の高齢化（65歳以上が65%）
 - 大規模経営者が急増（100ha以上の経営者が30%増加）
 - 農業構造改革の必要性
 - 農業のスマート化、育成等の技術が急務に
 - 健康機能性等の食市場が拡大（健康・食料関連産業の産額：約100兆円）
- SIPが目指す科学技術イノベーション（2つの重点目標）**
- ① ロボット技術、ICT、ゲノム等の先端技術を活用し、生産力・高生産のスマート農業モデルを構築（農業におけるSociety 5.0の実現）
 - ② 国産の持つおいしさや機能性等の強みを活かした食品や、未利用資源から新素材等を産出するなど、高付加価値戦略を推進
- 日本の農林水産業の将来像**
- 担い手を中心とした、グローバル競争に勝てる強い農業
 - 高付加価値化による農林水産業及び関連産業の市場規模拡大と地域の発展

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム

4

データ連携機能のサービス例

農業データ連携基盤を通じて、民間企業が提供する営農管理システムに背景地図（航空写真、地形図）、圃場境界ポリゴン、土壌データ、生育予測システム、メッシュ気象データを取り込み、重ね合わせて表示することにより、作業計画等を管理することが可能になる。



5

スマート水田農業（現地実証試験）

- 国内4か所にパイロットファーム（大規模実証圃）を設置し、各要素技術の統合実証と農業経営の専門家による経営評価を実施中。
- 北海道では圃場間移動を含む自動走行実現のための実証において3Dマップを作成中（SIP自動走行との連携課題）。



17

スマート水田農業（経営評価）

- 横芝光町パイロットファーム（作付面積：112ha）における実証試験データ等を基に生産コスト・農業所得を試算した。
- 生産コストは9,064円/60kg 政府目標：4割削減（9,500円）を達成、1人あたり栽培面積の拡大により1人あたり農業所得は790万円/年となり、SIP導入前（546万円/年）と比較して37%増加した。

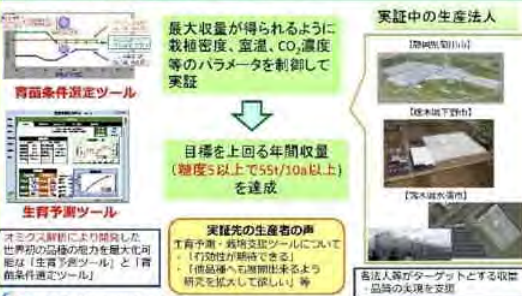
	1人当たり 農業所得(万円)	60kg当たり 米生産費(円)	作業 削減率
パイロットファーム (SIP)	790	9,064	作業 70%
目標(5割削減)	—	8,000	耕耘 30%
50ha以上圃 (参考・統計値)	575	13,241	田植え 40%
			収穫 30%

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム

18

スマート施設園芸（新技術開発と現地実証試験）

- オミクス解析に基づく育苗条件選定ツール、生育予測ツール、果実抑制剤等を開発した。
- 産研連携(つくば)や大規模生産法人のトマト植物工場等で実証中、農研機構における実証では、目標(55t/10a)を上回る年間収量を達成した。



SIP 戦略的イノベーション創造プログラム

19

自動化・ロボット化

- ✓ 安倍総理からSTSフォーラムにおいて**マルチロボットトラクタをPR**いただく。
- ✓ 無人運転で熟練者以上の速度と精度で植え付け可能な**自動走行田植機を開発**。
- ✓ 準天頂衛星システム(QZSS)に対応した**超低価格(10万円程度)の高精度受信機を開発**。

無人田植機

マルチロボットトラクタ
自動走行田植機
マルチロボットトラクタ
自動走行田植機
マルチロボットトラクタ
自動走行田植機

高精度・高信頼性の精密受信機

安倍総理から自動走行トラクタを紹介
(科学技術・イノベーションに関する閣僚フォーラム)
(開催、2017年10月13日)

自動走行田植機
田植え作業と苗間除草を1人で実現
→ 人件費削減・脱税脱大

QZSS対応低価格受信機

- 水平方向: 誤差3cm以下を確保
- 0コスト農機への低価格化 → **日本全国に広く普及**

**内閣府 第3回 宇宙開発利用大綱
国土交通大臣賞**

令和2年10月30日発表開始

農業データ連携基盤によるSociety 5.0農業の概要

✓ 様々な農業ICTサービスが生まれているが、各社システム間の相互連携がない
 ✓ 行政や研究機関のデータがバラバラに存在し、容易に活用できない

気象データ
 ✓ 交通、日照時間等

土壌データ

収穫データ

リモートセンシングデータ

センサーデータ

農産物データ
 ✓ 品種、栽培データ
 ✓ 品質特性、栽培方法等

資材データ
 ✓ 農薬、肥料の施用
 作物の収穫量等

市場データ
 ✓ 卸売市場の状況情報等

農産物データ連携基盤

データを統合・分析

データに基づく戦略的経営判断

使役ベンダーがデータを利用してサービスを構築・提供

農業データ連携基盤（WAGRI）の構造

- 農業データ連携基盤（WAGRI）は、農業ICTサービスを提供する**民間企業間の協働体**として稼働を定めている。
- WAGRIを通じて**相互に業務・用途は異なるデータシステムを創出し**、**個別企業が持つサービスの展開や新たなサービスの創出を促すことで、農業者が得るバリューを最大化・活用**できるようにする。

農業事業者とそれぞれ協働する各社に対して**農業関連サービスを連携・提供**

データシステム利用者
 システムA システムB ICTベンダーC ICTベンダーD

WAGRIを通じてデータシステムを接続し、新たな商業利用サービスを開発

農業データ連携基盤（WAGRI）

Public(Open) データ
 気象や土壌、圃場画像等に因る様々なデータシステムを提供（開発許可制を予定）
 実態 API* 経産 API 地調 API センサ API 生育予測 API 土壌 API 統計 API

WAGRIを通してデータシステムを提供

Private(Closed) データ
 農家専有法人/個人など自らのデータに特許・管理
 Masterデータ
 Public/PrivateデータAPIインターフェイス
 と公開IDカードで連携

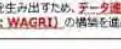
認証方式
 Open ID Connectを利用
* As a product "Programmer's machine" のみ、他社のクラウド・サーバ環境（SaaS）等でも利用できるものも検討中。

データシステム提供者
 民間企業 民間団体 民間企業 民間企業 民間企業 官公庁

農業データ連携基盤（WAGRI）の3つの機能

データ連携機能

ベンダーやメーカーの枠を超えて、様々な産地・産種・農機やセンサー等のデータ連携が可能な基盤。



データ共有機能

一定のルールの中でのデータ共有が可能なため、データの比較や、主産物の向上に繋がるサービスの提供が可能になる。



データ提供機能

十億、兆画素、市況などの様々なデータや基盤・農機に依って、価値の提供が可能な基盤。



様々なデータを駆使して生産性向上・経営改善に取り組むことが可能になる。

スマート施設園芸（経営評価）

✓ **スマート植物工場（トマト）について、民間コンサルの参画により、SIPの成果を導入した植物工場の事業計画の精緻なモデルを作成し、収益性を評価した。**
 → 補助金無しでキャッシュフローを確保しつつ、事業開始8年後からは**単年度黒字化**し、SIP方式で安定的な経営が可能であることが示した。

SIP型植物工場の事業計画シミュレーション

	項目	SIP型植物工場	備考
事業	面積	4 ha	
	平均収量	57 t/ha	宮城県産高品質トマト
	反当単価	349 円	出荷単価 (560 円/10kg)
	切取総投資	19.6 億円	事業開始年
社会	売上(1)	796,560 円	15% 付加価値
	経費(費用) ①	585,934 円	15% 付加価値 高価格化による増収
	経営利益率 ② (1)-(2)	210,626 円	15% 付加価値
	経営利益率 ③ (2)/(1)	26.4 %	15% 付加価値
財務	IRR	4.27 %	15% 付加価値
		7.85 %	20% 付加価値

モデルの前提条件

- ・立地は三重県（日照2,111時間/年）
- ・苗は購入（560 円/10kg）
- ・15.9 億円をスーパードルギ資金、5.9 億円を地銀借入（金利3%、10年で返済）
- ・正社員15名・パート84名
- ・自ら営業、販売に取り組む、等

④(1) 累積現金収支

SIPスマート農業の国際展開

目標：SIP技術のグローバル展開による国際貢献と開発システムでの低コスト化による日本農業への普及促進

○ H29年7月、8月、世界有数のコメ生産国タイがPRを招待。PDからSIPスマート水田農業を中心にSIPの成果を政府関係者等に紹介。

○ 9月、タイ農業担当大臣訪泰を中心とする関係者一行が北海道を訪れ、スマート水田農業の成果を視察。



PR活動によりタイ農業担当大臣、副大臣の視察実現（北海道）

↓

○ タイ側は「SIPの成果を導入したい」と高く評価。またSIP開発中の天候衛星の受信機はタイでも利用可能。



↓

○ H29年12月にSIP参画企業がタイで自動走行トラクタ実演会開催。キヤンパム生産の自動化でタイ農家から需要を喚起（参画）。

○ H30年1月にタイのGNSSセンター開設でSIP参画企業が自動走行トラクタの実業（タイ科学技術大臣等参画）。

○ SIPキヤンパムで詰めたモニタリングでSIPの成果は高く評価。オムバーン生産の自動化でタイ農家から需要喚起（参画）。



PRによるタイでの稲米実演会の様子

↓

SIP技術の東南アジアにおける展開

- SIP「次世代農林水産業創造技術」
- 今後のスマート農業の展開について
 - ① 小型協調型ロボット
 - ② スマート営農システム×スマートフードチェーン
 - ③ スマート露地野菜生産
 - ④ スマートヴィレッジ

耕うん・整地



施肥



**① 複数の小型スマートロボット
による協調作業システム**

防除



収穫



日本オリジナルなロボット農業体系

- 低価格
- 小型・小回り
- 単機能・24時間使用できる
- 複数で協調作業できる
(小区画から大区画まで対応)

使い方：共有、リース・レンタル、作業委託

第2期 ② スマート農業システム×スマートフードチェーン

「スマートバイオ産業・農業基盤技術」

鮮度と品質管理を基軸とする生産技術とスマートフードチェーン開発

農業・食品産業の成長産業化
農業・食料関連産業生産額: 約100兆円

労働時間30%削減
食品ロス10%削減

農業データ連携基盤 (WAGRI)

流通基盤プラットフォーム

③ スマート露地野菜作

ドローンによるリモートセンシング IoT

ビッグデータ AI

生育状態の可視化と最適管理

- 生育モデリング
- 病虫害発生予測検知
- 果実の位置推定
- 管理作業の最適化
- 収穫適期予測
- 予測収量マップ

撮影頻度: 1回/週

ドローン GISマッピング

気象ステーション

作業データ

収穫作業の自動化

- 収穫・搬出・選別作業の自動化
- 選別収穫
- 夜間収穫

マルチロボット

重量物野菜収穫ロボット

マルチロボット

収穫ロボット + 2台のコンテナロボット

ハンド付きロボットトラクタ

- 重量物野菜の収穫は労働負荷が非常に大きい。
- 収穫ロボットは作物に傷をつけずに選択収穫。
- 対象作物はカボチャ、スイカなど。

カボチャ収穫

カボチャ収穫用ハンド

ロボットアーム

④ スマートヴィレッジ (地域への実装)

ドローン (農業都市もリモセン)

スマート農業システム

スマート農業連携センター

ロボットトラクタ

GNSSオートステアリング

多機能農業管理システム

スマート農業システム

スマート農業システム

スマート農業システム

農道の3D地図化

- ロボット農機 (ロボットトラクタ、ロボットコンバイン、マルチロボット)
- 資材 (苗、種、肥料、収穫物など)
- 無人運転バス (通学・通院・買い物など)

社会システムとの連動

スマートフードチェーン

地方から世界へ

ドローン (農業都市もリモセン)

スマート農業システム

スマート農業連携センター

ロボットトラクタ

GNSSオートステアリング

多機能農業管理システム

スマート農業システム

スマート農業システム

スマート農業システム

要約

- 就業者人口減少と高齢化が進む日本農業において**スマート農業技術**の導入は不可欠。
- 内閣府SIP「次世代農林水産業創造技術」では「水田農業」と「施設園芸」についてスマート農業技術の開発を行った。
- SIPでは農業版Society5.0を目指し、その核になる**農業データ連携基盤 (WAGRI)**を構築した。
- 2018年11月からサービスがスタートした**準天頂衛星システム**はロボット農機に極めて有用。
- SIP第2期によって生産のスマート化から**流通・消費のスマート化 (スマートフードチェーン)**へと拡充・発展する。
- スマート農業の波及効果は、**個人 → 地域 → 世界**である。また、スマート農業技術の重要性を社会一般に広く理解してもらうことは極めて重要。

農産からシンカする

穂海のご紹介と 一農業者の考える水稻農業の将来像

株式会社 穂海
有限会社 穂海農機

代表取締役 丸田 洋

代表 丸田洋 自己紹介

昭和49年 新潟県上越市生まれ 43歳
 東北大学工学部機械航空工学科卒業
 元新潟鐵工所（現新潟原動機）にて
 ガスタービンの開発を行う
 アライリソート（現在閉鎖）にて、
 ダイナマイトを用い雪崩管理業務を行う。
 平成17年農外から新規参入
 農林水産省農業技術会議専門委員
 上越市食料・農業・農村政策審議会委員
 前新潟県新・総合政策策定検討委員会委員

穂海の所在地のご紹介

【新潟県上越市板倉区】
 人口：6,802人（平成30年4月1日）
 面積：66.51km²（平成23年）
 経営耕地面積：995ha（平成27年農林センサス）
 ほほ水稻のみの、穀倉地帯
 集落営農が多く、大規模な生産法人は弊社のみ

北陸新幹線の開業により、上越妙高駅が
 でき、東京まで2時間弱。
 弊社から上越妙高駅までは車で15分！

会社概要

項目	株式会社 穂海	有限会社 穂海農機
設立	平成23年6月1日	平成17年12月1日
所在地	新潟県上越市板倉区田原104番地2	
役員	代表取締役 丸田洋	
従業員数	4名	15名
事業内容	水稻の栽培・販売 農機器具・コンサルティング（GAP） 研修、農業者の応答・支援 農産物検査 生産調整方針作成者	水稻の栽培 経営面積145ha 外販委託業務（水稲調製、乾燥調整、脱穀外販等）
関係団体	ちばみどり（穂海生）／おきんこ（穂海生） コシヒカリ（市生）／あまの輝（市生） あまの輝（市生）／あまの輝（市生） やまびら（市生）／あまの輝（市生） ※販売先：主食用、加工用、輸出用 ※販売先：主食用、加工用、輸出用	
その他	ASIA GAP Ver.2 取得 認証農場	

平成30年5月1日現在



穂海の考える稲作経営～マーケットについて～

・マーケットインからの品種決定

マーケットとはどこか？

消費者のみなさま

卸のみなさま

実需者のみなさま

生産者もマーケット
 マーケットインである以上、必ずしもすでに流通している品種とは限らない。むしろそうでない場合が多い。

穂海の考える稲作経営～マーケットについて～

実需者のみなさまの求めること

用途 米質 価格帯

生産者として求めること

作期 収量 価格 作りやすさ

品種情報、栽培ノウハウの蓄積が非常に重要

穂海の考える稲作経営～原価の低減策～

原価の低減

資材費の低減

人件費の削減



一人当たりの経営面積をいかに大きくするか

少ない人数でより大きな面積を経営するか

- 今後必要だと考えていること その1
- ・ **基盤整備**
ロボット化、IoTの導入、ドローンなどを導入するため、またより高効率で作業を行うため、「規格化」された圃場整備が実施され、一枚の圃場が、数ヘクタール規模にならない
 - ・ **ロボット、ドローン、その他自動化の開発の推進**
圃場の水管理の自動化、草刈りロボットを始めとするロボット化、ドローンのペイロードの増加と一回のフライトの長時間化と自動化(法律含む)

- 今後必要だと考えていること その2
- ・ **用水(本線から支流まで)の遠隔管理化及び自動化**
用水は集落単位での維持が基本と考えられるが、集落そのものの維持が難しくなる中、それらを遠隔管理する仕組みや、自動化する必要がある。
 - ・ **育種の方向性**
栽培体系と連携した育種の実施や、海外の嗜好に合わせた育種の推進が必要。また知的財産保護の観点から、F1化の実施と、高効率な種子生産技術の開発がもれない

- 今後必要だと考えていること その3
- ・ **流通形態の変更**
玄米流通から粳流通への変更。粳摺りは農業者が大規模になった際に負担になる可能性が高まるとともに、大量に集まった粳穀は、発電のエネルギー源(ガスタービンやガス化しての発電等)となり、灰もSiO₂としての利用価値があるはず。
 - ・ **シーズとニーズにとらわれない基礎研究の実施**
あまりに目の前にあるシーズとニーズだけにとらわれた研究開発ばかりになると将来、いざというときに開けられる引き出しがなくなってしまうのではないかな...

- 農業者として必要と考えていること
- ・ **フラッグシップを作る農業者と原料メーカー的農業者の共存**
どうしても議論が大規模な農業者だけになってしまうが、素晴らしく美味しい米を作る農業者も必ず必要ではないか。
 - ・ **飼料の動向と輸出とのバランス**
輸出はあくまで「国内需要のバッファ」であるべきなのではないか？その需要と輸入飼料の価格の上昇により我々生産者は何を栽培すべきなのかを決める経営者の視点が必要ではないか=真の農業経営者の育成