

1. 技術革新における機械化の役割

新しい技術要素が生産技術の体系に組み込まれて生産体系が整備され、同時に技術運用の仕組みと担い手が登場するとき、技術革新が駆動される。技術の運用は技術経営管理(MOT Management of Technology)に属する課題であり、生産様式のほか、技術の維持管理サービス網や法制度および農産物販売方法に強く影響される。また作業の機械化は標準作業を構成し、生産様式の変更と安定をもたらす。

本章では、食糧需給の見直しに対応した農業技術の課題、農業生産における機械化の役割、情報通信技術と認知科学の進展に影響をうける農業生産技術のあり方について紹介する。技術革新の推進においては、国の政策や経済社会の動向に関わるマクロ技術政策と、個々の生産者や経営者の動機や意思決定に関わるミクロ技術政策が注目される。1節と2節がミクロ技術政策、3節がマクロ技術政策を念頭に置いている。

1.1 農業の構造変化と課題

1.1.1 人口増加と穀物単収技術

人口 90 億人時代を迎えつつある現在、限られた水資源や土壌資源の計画的で有効な活用、エネルギー資源の有効活用が人類社会の存続に直結する課題として急速に浮上している¹⁾。例えば、国際的に水資源の希少化が叫ばれ、工業用水や人口増加に伴う生活用水のさらなる増大が見込まれるっており、世界における水利利用の7割を占める農業用水の利用効率の大幅な改善が、世界共通の課題となっている。水資源の偏在や環境保全への配慮、および乾燥地等における有効な水利用を考慮した場合、適切な位置で適切な時間に適量の水を供給するという需要対応型の節水農業へとパラダイム転換すべき時期にきている。

一方、農業生産の主要目的は食料の安定供給にあり、その需給関係の見直しは農業のあり方を決定する。1990年から2010年にかけての食料需給の特徴の一つは、生産が需要に追いつかず、在庫が危険水準の15%を下回った時期もあったことである。過去40年間の世界の穀物生産を見ると生産量は継続的に増加している(図1-1-1-1)。農地面積は漸減なので、この間の食料増産は単収増大技術に支えられたものだった。単収増加の構成要素は、品種改良、肥料・植物保護、作業の機械化であり、増加率の飽和が危惧され始めている。一方、人口増のため、一人あたりの収穫面積が急速に減少し、限界面積といわれる10アールに到達した。限界面積とは、一人の人間を養うに必要な食料を



図 1-1-1-1 世界の穀物生産

生産するための農地の広さである。試算方法により推定値は異なるものの、人口増の圧力が世界の食料需給バランスを急速に変えることが現実になりつつある。すると、市民農園や家庭菜園も含め、すべての農用地に単収増大による食料増産を担う人道的義務が発生することになる。我が国は、世界の中でも優れて単収増大技術が蓄積されてきた農業を抱えており、国際的に注目されている。

図 1-1-1-2 は、主要穀物の単位面積当たり収穫量の国際比較である。各国政府の統計データを国際農業機構(FAO)が集約したもので、品種特性や2期作などの作型の特徴が明示されていないが、日本の単収は世界でも有数の位置にある。特に水稻栽培を中軸にした穀物生産で上位に位置しているのは日本と韓国であり、水稻の高単収技術の国際的普及は国際社会の期待する課題である。また、穀物高単収の上位10カ国にはベルギーなどの畑作を中心とする欧米農業先進国が大半を占めている。耕地面積1億ヘクタール以上を持ちながら単収向上技術に期待がもたれるロシアやインド及び中国などの動向は、世界の食糧需給バランスに強い影響を及ぼす。

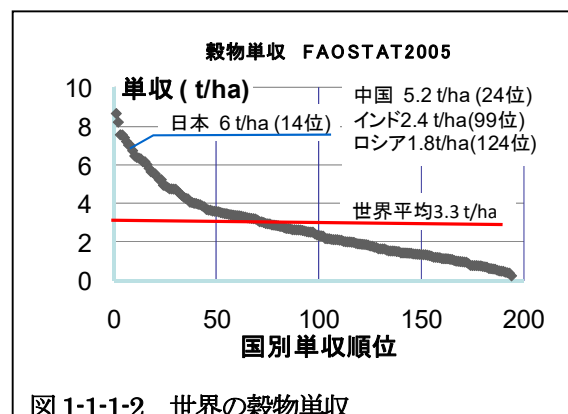


図 1-1-1-2 世界の穀物単収

1.1.2 経営体の少数化と大規模化

一方、モンスーン気候の中で高度に発達した我が国の農業技術を支えた農業者が減少を続けている（図1-1-1-3）。2010年では、基幹的農業従事者では170万人、60歳以上が75%、これからの10年間に70%規模の離農が予想される。200万人規模の農業従事者が10分の1の20万人規模に減少するおそれがある。事実、土地利用型農業では、農地の32%が経営体シェア2%である20ha以上耕作の経営体に集積しており、経営体数にしてみれば140万戸のうちの3万戸にあたる（図1-1-1-4）。しかし、我が国の自然条件を生かすには小規模分散ほ場が適しており、一つ一つの経営体が大規模になってもこの自然条件に変化はない。離農する多数の農業者が支えた小規模分散農業の集団技術が

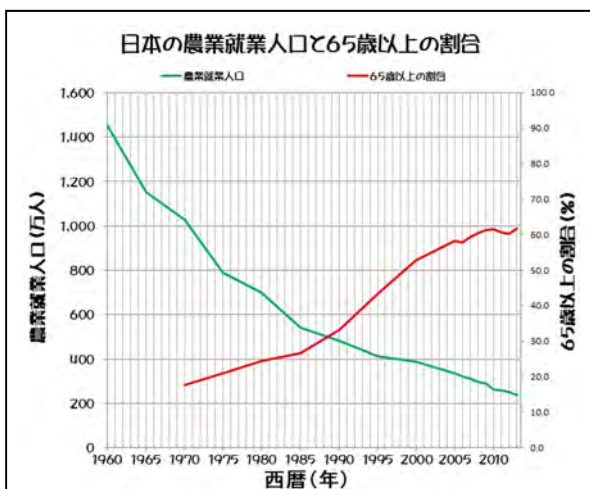


図1-1-1-3 農業就業人口の減少と高齢化

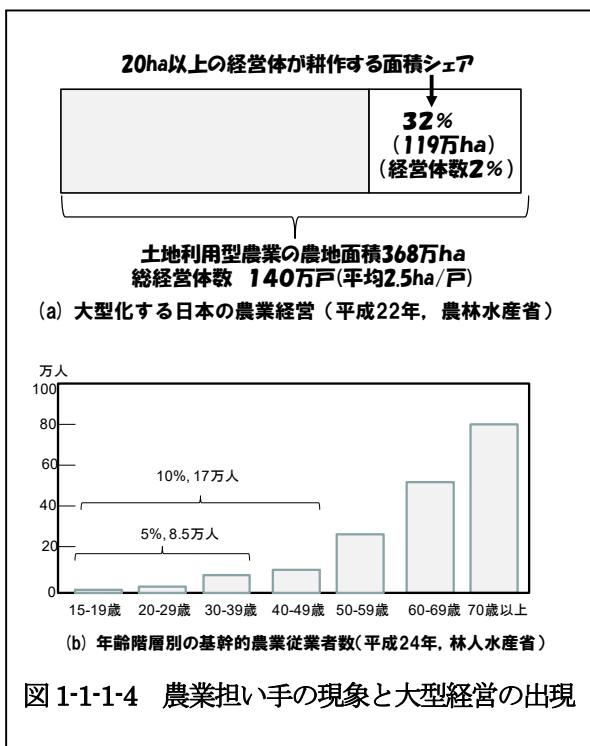


図1-1-1-4 農業担い手の現象と大型経営の出現

消滅の危機に瀕していることになる。

従って、日本に適した小規模分散ほ場の農業を、現在の10%の数の経営体で、単収を維持向上させながら継続するという歴史的事業に取り組みなければならないのである。

1.1.3 農産物流通の複雑化と情報共有の必要性

農産物流通の現状を理解するため、図1-1-1-5のように、農業生産の場および流通の場と消費の場をそれぞれ単純化して示した。

ほ場で生産された農産物は農家に集められ、さらに「トマト部会」のような特定の営農集団、あるいは農協とか生産組合にまとめられて出荷される。場合によっては「〇〇産」などと産地のブランド名や農家の氏名を付加して出荷されることもある。同じ畑から収穫された農産物でありながら、集荷・出荷される場所や組織により異なる特産品と規格が存在するのである。

流通の場を見ると、個別包装からコンテナ、トラック便とか宅配便、あるいは首都圏向けとか地元向けなど、一度に扱う量も経路も所要時間や管理方法もさまざまである。消費の場を見ると、中央卸市場から小売あるいは個人宅配にいたるまで、これもまた様々なルートと形態がみられる。消費者の嗜好やニーズは場所によりまた季節や世代により刻々と変化している。

図1-1-1-5のような単純化した場合であっても、ひとつの農産物に対して流通形態は100通りが考えられる。生産の場や消費の場あるいは流通の場からみて、異なる結びつきを求める動機ははたらくので、複雑化がさらに進展する。農産物を追跡するには生産流通情報の共通化・標準化が必要になる。

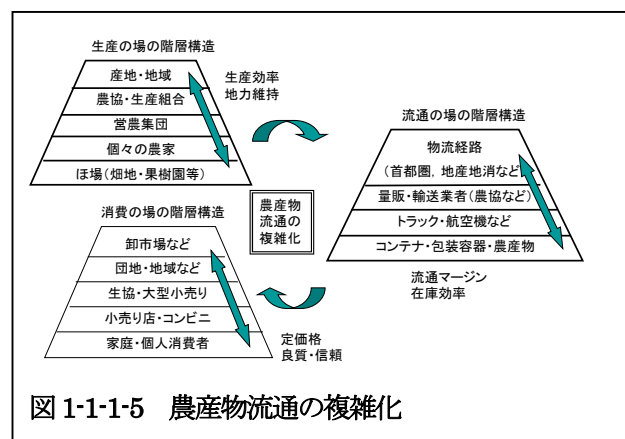


図1-1-1-5 農産物流通の複雑化

引用・参考文献

- 1)JST 調査報告書「グリーンバイオ分野における研究開発の重要課題と統合的推進」、CRDS-FY2015-FY-RR-08, p. 214 (2016)

2)澁澤 栄, ICTシステムを活用した未来を創造するスマート農業, 月刊材料, 137(7): 1-8 (2017)

1.2 農業機械の役割

1.2.1 農作業と農法の5大要素

農業は、植物の営みを利用して人々に有用な資材を生産する業である。植物の営みを補助する作業が農作業である。人間に着目すると、農作業は経済価値を生み出す労働にあたり、また生産プロセスに着目すると、物理的、化学的、生物的な作用に対する作物や土壌の応答管理でもある。近代における農作業の機械化は、単位時間当たり、および単位面積当たりの農業生産性を大幅に改善し、また農作業負荷を軽減するとともに、一方で、農作業死亡事故の危険性を高めた¹⁾。さらに農業機械の普及は、農作業の標準化を促進した。

情報通信技術が農業現場で応用され、収益管理のマネジメント戦略である精密農業が多様な形で普及すると、農作業の役割や機能が一変した²⁾。農業機械の高度化により農作業と同時に農作業基幹データが大量に生産されるようになり、生産現場からのデジタル情報にもとづく収益管理が精密農業の注目するところとなった(図1-1-2-1)。農作業データには、作業判断のための天候や市況あるいは作物や農地の状況のほか、作業のプロセスや効果、使用した機械や施設等の稼働状況などが含まれる。

農業経営の持続性のうちで最も注目すべき課題が事故や法令違反などのリスク管理である。克明な農作業データを活用すると、農作業の中で収益管理とリスク管理が同時にできるようになる。同じ農作業でありながら、収益管理に着目すると精密農業、リスク管理に着目するとGAP (Good Agricultural Practices, 農業適正規範) に対応する作業になる。

本節では、農法とは、地力維持と農業生産力を発展させるために必要な技術の諸要素を農場で統合したシ

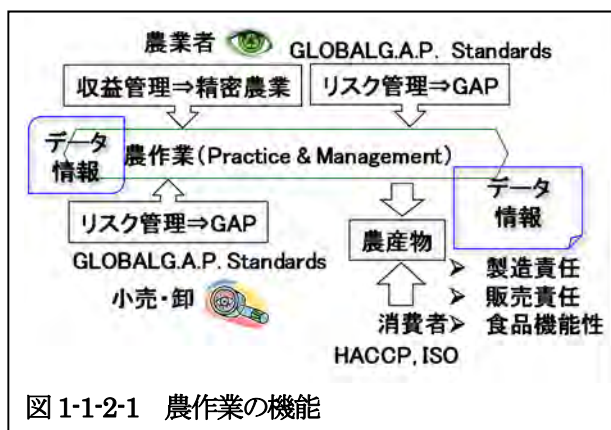


図1-1-2-1 農作業の機能

ステム技術ととらえ、次の五つの要素から成り立つと仮定する²⁾(図1-1-2-2)。

①作物品種：ゲノム配列と表現型で特徴付けられる品種特性は栽培様式を決定し、耐寒性とか耐病性あるいは多肥多収性、市場性などは、農法を構築する際の基本要素である。

②ほ場：場所(気象条件など)、土壌の性質、水利条件、ほ場の形やサイズ、分散状態や利用形態など、作物品種や技術の選択に制約を与える。

③技術：栽培方法などといわれるソフト技術、及び農業機械や施設構造物に代表されるハード技術がある。ハード技術は簡単に変更できないので、農法変革の障害となる場合もあれば、逆に農法革新を決定づける。

④生産者の動機：気分や感情、嗜好、家系、経営戦略などの生産者個人あるいは生産組織の特性であり、技術ばかり着目すると無視されがちだが、実は農法を決定し運用する主体である。

⑤地域システム：農業政策、農協などの団体、市場へのアクセス方法、技術普及システムなど、農法を維持・普及するための地域集団システム。産地間競争を

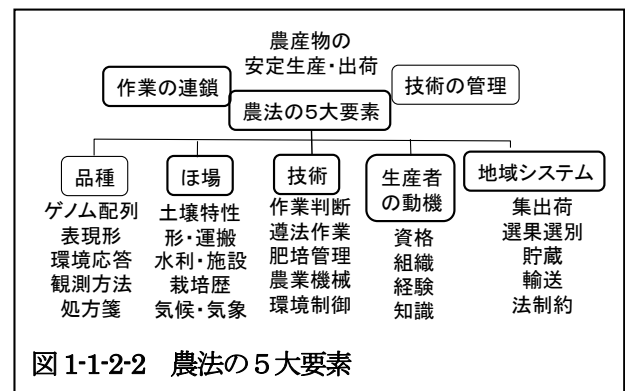


図1-1-2-2 農法の5大要素

支配する要素である。

農法の5大要素は、それぞれが複数の異なる技術要素から構成されて重層的な階層構造を持っており、条件に応じて技術要素の組み合わせは無数に存在する。例えば作物の選定については、品種の選択やその発現型の特性、栽培方法の特徴、環境変化への応答特性、観測・診断方法などがすべて記述され、はじめて農法構成要素の「作物品種」が選択されたことになる。種子を購入しただけでは、農法の構成要素を意識したことにはならない。

また、農法の5大要素が統合されて展開される場が農場で有り、生産者あるいは生産組織の知的・肉体的労働、すなわち農作業を通して農法が具体化される。農作業の機械化は農法5大要素の機械化を意味しており、19世紀の英国などのように、農業の機械化が担い手の変更を伴う場合は農業革命とよぶことがある。

1.2.2 農業情報標準化の意義

農業機械が情報通信技術と接続することにより、いままで個々に計測処理されてきた作物やほ場および気象などに関する情報が、農作業プロセスの中で一挙に集積あるいは統合する条件が現れ、ビッグデータ解析などの手法も利用可能になった。そこで、複雑で多様な大規模農業情報が経営判断に直結する生産知財として注目されるようになった。一方、特定の利害関係者による情報の囲い込みや独占による農業の健全な発展を阻害する危険性が表面化したので、農業情報に関する非競争領域あるいは協調領域における共有化・標準化のために、政府はして「農業情報創成・流通促進戦略」（以下本戦略）を発出した（図 1-1-2-3）³⁾。

本戦略は、「農業の産業競争力向上」と「関連産業の高度化」および「市場開拓・販売力強化」の三つの政策ベクトルを持ち、農業に輸出産業としての機能を持たせることを目的にしている。その共通基盤政策として、「農業情報の相互運用性・可搬性の確保に資する標準化や情報の取り扱いに関する本戦略に基づくガイドライン等の策定」と「農地情報の整備と活用」をあげている。

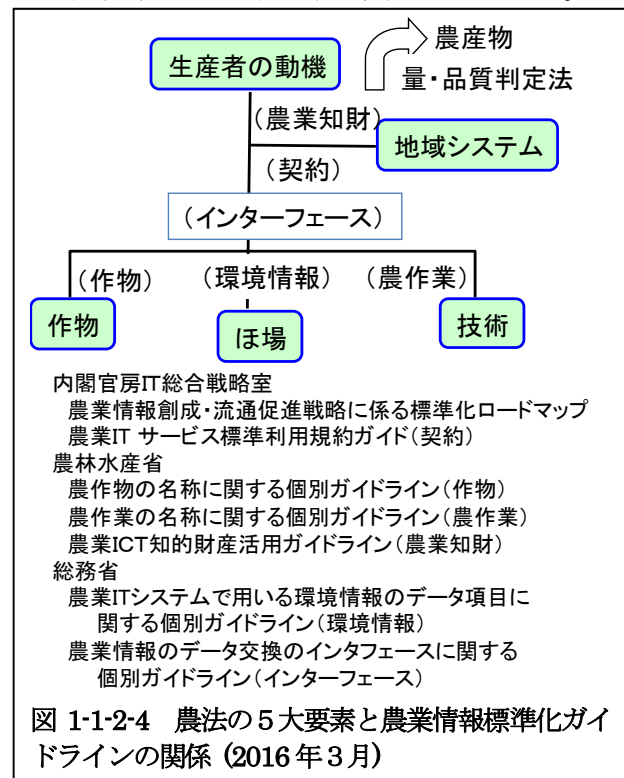
相互運用性とは、異なる企業や異なる仕様のデータ管理システムであってもデータ利用が可能となる仕組みで、特定の利害団体の囲い込みを許さないことを旨とする。可搬性とは、データの所有者が利用しているデータ管理システムよりデータを自由にダウンロードでき、他の用途に利用できる機能である。データの相互運用性と可搬性の実効性を左右する価値基準として、データのオーナーシップ（所有権）問題がある。本戦略では、農場から取得した1次データは農場所有

者あるいは耕作者に帰属することを原則としている。1次データを加工する場合には、関係者が所有権の帰属に関する公平な契約をすることを求めている。

また、農業委員会が管理する農地情報についてはデジタル情報化が実現され、「農地ナビ」を通じて閲覧可能になっている。

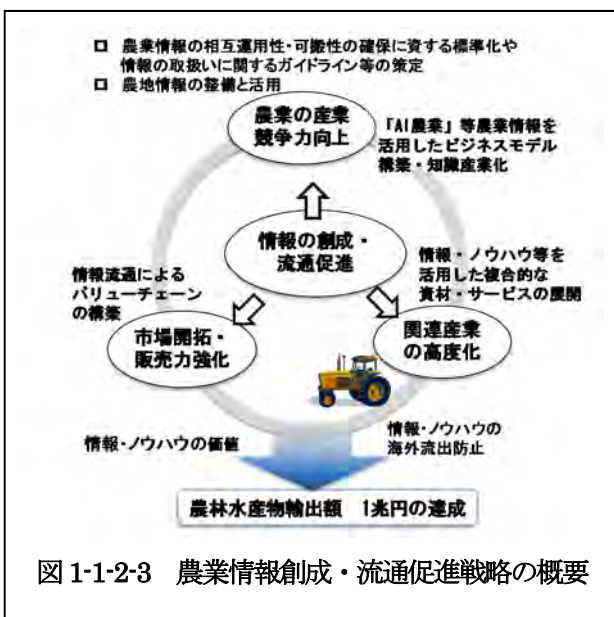
本戦略を推進するため、2016年3月には、政府IT総合戦略本部で、「農業情報創成・流通促進戦略に係る標準化ロードマップ」と「農業ITサービス標準利用規約ガイド（契約）」を発出し、農林水産省は「農作物の名称に関する個別ガイドライン（作物）」と「農作業の名称に関する個別ガイドライン（農作業）」および「農業ICT知的財産活用ガイドライン（農業知財）」を発出し、総務省は「農業ITシステムで用いる環境情報のデータ項目に関する個別ガイドライン（環境情報）」と「農業情報のデータ交換のインターフェースに関する個別ガイドライン（インターフェース）」を発出した。

これらのガイドラインは農法の5大要素すべてに同時に関わり（図 1-1-2-4）、本戦略の実行は、農業現場の構造変革を強力に促進する役割を持っている。



引用・参考文献

- 1) 近藤 直・清水 浩・中嶋 洋・飯田訓久・小川 雄一、「生物生産工学概論」, 朝倉書店, p.73 (2012)
- 2) 澁澤 栄, 「精密農業」, 朝倉書店, p.197 (2006)
- 3) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（政府IT総合戦略本部）, 農業情報創成・流通促進戦略, 2014年6月3日



1.3 技術の高度化

1.3.1 科学技術政策における農業機械の位置

内閣府が発出した科学技術イノベーション総合戦略 2015 のなかで農業のスマート化を明示的に取り上げ、スマート・フードチェーンとスマート生産システムが科学技術行政の課題として位置づけられた。その中で、ICTの活用により、多様化する国内外市場ニーズを商品開発や技術開発（育種、生産・栽培、加工技術、品質管理、鮮度保持等）にフィードバックできるフードチェーン構築のための研究開発システム構築を重視した。また、ICTやロボット技術等を活用した大規模生産システムやベテラン就農者のノウハウの形式知化や作業の軽労化など、省力化された効率的なスマート生産システムの構築も重点課題とした。

従来、農業技術行政は農林水産省の所轄事業であり、部分的に府省連携が進められていたが、農業生産技術そのものが科学技術政策の中心課題の一つとして内閣府に取り上げられたのは今回が初めてである。

第5期科学技術基本計画¹⁾では、ICTが発展してネットワーク化やIoTの利活用が進む中で、ドイツの「インダストリー4.0」、米国の「先進製造パートナーシップ」、中国の「中国製造2025」などに着目しつつ、第4次産業革命とも言うべき技術革新の波を先導していく官民協力の取り組みを重視した。そして、サイバー空間とフィジカル空間（現実世界）とを融合させた取り組みにより、人々に豊かさをもたらす「超スマート社会 Society 5.0」を提起した。Society 5.0は11のサブシステムから構成され、その中にスマート・フードチェーンシステムとスマート生産システムが位置づけられた（図1-1-3-1）。

特に、スマート・フードチェーンシステムでは、育種・生産・加工・流通・外食・消費という農産物物流通のシステム全体を対象にしたシステムイノベーショ



図1-1-3-1 超スマート社会 Society5.0 サービスプラットフォームの構想(第5期科学技術基本計画2016年1月)

ンに資する基盤技術の強化を謳っており、従来の農業技術政策と本質的に異なる視座である（図1-1-3-2）。

具体的には、国内外の市場や消費者のニーズを育種、生産、加工・流通、品質管理等に反映させ、付加価値の高い農林水産物・食品を提供することをめざしている。技術開発目標としては、多収性や日持ち性などの有用な形質を持つ品種の開発、機能性農林水産物や食品の開発および次世代施設栽培による高付加価値商品の生産と供給、輸出にも対応可能な品質管理技術や鮮度保持技術等の開発、をあげている。その実現のための施策が、省庁単独でなく、複数の府省連携事業として取り組まれていることが注目すべき特徴である。

農産物の高付加価値についても、とらえ方の重要な転換がある。加工業務用を市場ニーズの重要な柱と位置づけ、定時・定量・定品質・定価格の農産物供給システムを付加価値の構成要素と位置づけた。

スマート・フードチェーンの提案に先立ち、過去20年間の栽培技術と育種技術の研究開発力に関する国別比較調査報告を特許庁が発出している²⁾。これによると、栽培技術に関する特許では、日米欧中韓における出願件数が90年代から2000年代にかけて増加傾向にあり、日本国籍、米国籍、欧州国籍の出願人による出願件数が多いが、2000年代以降は相対的に日本国籍の出願比率が減少し、近年は中国籍、韓国籍の出願件数が急増したと指摘している。特に、日本で登録されている特許を出願人国籍別で見ると日本国籍の出願比率が93%と圧倒的に多く、日本国内で登録されている海外籍出願人の出願比率は少ない。すなわち、知財のグローバルマーケットにおける日本市場の地位はきわめて低いことが予想される。

この調査結果のSWAT分析により、日本農業の産業力強化のための戦略提言がとりまとめられた。栽培技術に関しては、次の通りである。

・日本の強みであるほ場や作物に対するセンシング技術を発展させつつ、高齢化によって失われる恐れが

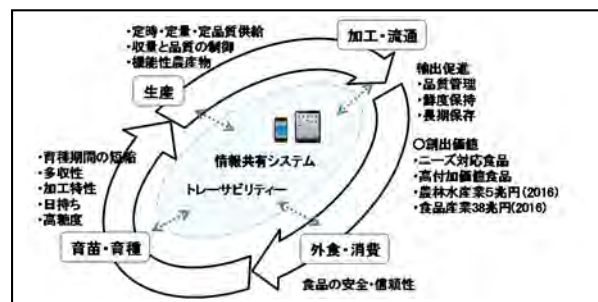


図1-1-3-2 研究戦略におけるスマート・フードチェーンシステム (SCTI 地域戦略協議会201512月)

ある熟練の知識を取り込んだ包括的な情報データベースを構築し、それらに基づく栽培管理システムを作り上げること。

・日本の強みであるセンシング技術を活かして小規模の田畑を群管理する技術開発に注力し、これらの技術を武器にアジア、アフリカなどの小規模農業中心の地域に積極的に事業を展開していくべきであり、その地域における知財権の取得を積極的に行っていくこと。

・我が国の強みを生かすためには、機械化、省エネ化などスマート農業への適性の観点を踏まえた、高品質または高機能な品種の開発に注力することが望まれる。

1.3.2 Cyber-Physical Farming System

Society 5.0におけるサイバー空間とフィジカル空間（現実世界）の農業版仮想モデルとして Cyber-Physical Farming System が提案された（図 1-1-3-3）³⁾。

実用栽培ほ場においては、作物表現型、生育環境、大規模遺伝子情報に関する数値データや画像データおよび栽培作業に関する客観的指標から構成されるデータ群を生成する。すべての情報が位置と時間の紐付けができると、サイバー空間のデータ農場が再構成できる。実在世界の農場とサイバー空間の農場の間をシームレスにデジタル情報が流通することにより、より効率的なリスク管理の支援が可能であろう。

最も重要なシステム要素は、図中の「判断する人」である。誰が何のために判断し、他と技術を動員するのか、現在のところ回答がない。高収量を目指す栽培動機、高収入を目指す利潤動機、地域貢献の社会動機などの位置づけが判断文脈構成で重要となる。

1.3.2 農業の担い手

スマート農業の担い手は誰かという鋭い問題提起は様々な分野で検討されているが、適切な回答を得るにはいたっていない。研究者や技術者が考え出す提案

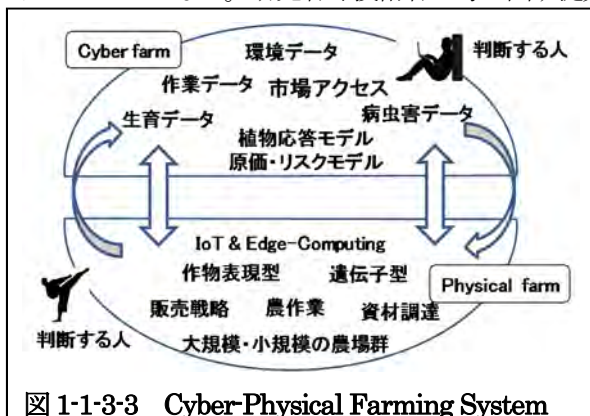


図 1-1-3-3 Cyber-Physical Farming System

は、現実から乖離した技術偏重のシナリオになりがちであり、人間や家族に視線を当てた地域コミュニティや社会システムの変化に対する洞察の欠落が常である。このスマート農業の構想も同じ弱点をもっている。ここでは、現行の農業システムが崩壊した後に登場するであろう農業の担い手像の作業仮説を、参考までに紹介する（図 1-1-3-4）¹⁾。

①日本の自然条件により、現行サイズと大差ない小規模ほ場群の耕作が安定した農業の姿である。

②農業は、大別して企業農業、地産知商農業、耕す市民農業に類型化される。

③企業農業の担い手は、数億～数十億円の売上を管理する経営者であり、市場アクセスを注視しながら収益管理とリスク管理を行う。

④地産知商農業の担い手は、地元の農産物を商う多角的事業者の経営者であり、生産様式や生活様式が販売価値に直結する工夫をする。

⑤耕す市民農業の担い手は、農業あるいは農作業に対価を払う市民であり、自然と調和する暮らしを購入すべき価値とする市民である。

⑦人々は、三つの種類の農業を自由に経験できる

⑧スマート農業は、これらの多様な農業の担い手に利活用される技術と知の体系である。

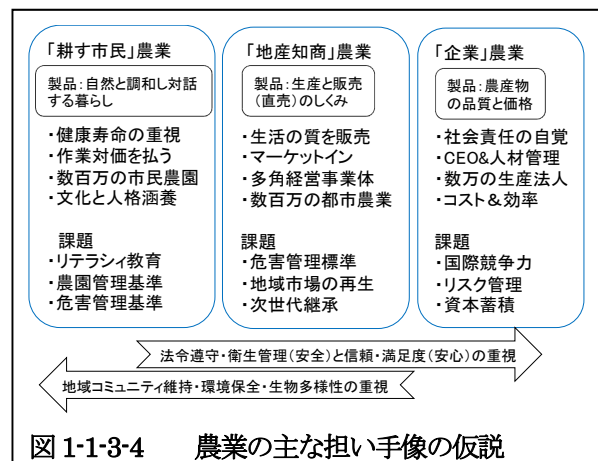


図 1-1-3-4 農業の主な担い手像の仮説

引用・参考文献

- 1) 澁澤 栄, ICT システムを活用した未来を創造するスマート農業, 月刊材料, 27(7): 1-8 (2017)
- 2) 平成 26 年度 特許出願技術動向調査—農業関連技術— (2015 年 3 月 特許庁)
- 3) 澁澤栄, 論点整理のために: 生体環境応答予測の考え方について, 内閣府総合科学技術・イノベーション会議, 第 5 回農林水産戦略協議会資料 4 (2017 年 2 月 9 日)