

[論文]

第4次産業革命をもたらすスマート農業

日 坂 彰

キーワード：スマート農業，第4次産業革命，農林漁業の6次産業化，クラウドコンピューティング，WAGRI（農業データ連携基盤），ビッグデータ，人工知能（AI），IoT，ロボット

第1章 はじめに

1.1. 日本の農業を取り巻く環境

日本の農林水産業を取り巻く環境は、一層厳しさを増している。食料安全保障の観点からは、直近20年間の食料自給率を見ると、カロリーベースは40%前後（目標：2025年度に45%）で、生産額ベースは60%台後半（目標：2025年度に73%）を中心に推移している。2016年度では、カロリーベースは前年度比1ポイント低下の38%、生産額ベースは2ポイント上昇の68%である。米の生産量が消費量を上回った昭和40年以降今日に至るまで日本では食料が間断なく安定供給され、飢餓に苦しむといったことは減多に聞かれないし、寧ろ最終消費者の視点では大量の食料廃棄（食品ロス）の方が問題視される状況にもある。しかし、日本は少子高齢化の時代を迎え人口減少、国内食料需要は減少が見込まれる一方で、世界では人口の爆発的増加

傾向が続いており、すなわち世界全体の食料需要は増加が続き逼迫することが確実視されている。今まで日本は食料の輸出よりも大幅な輸入超過状態にあったわけだが、端的に言えばこれは世界（貿易相手国）から相対的に安価な食料を買うことができたからに他ならない。これは、政治、外交、条約、通商協定、経済、為替、環境など様々な要素の結果であり、日本国と日本円の信用力が裏付けとなっていたとも言える。そのような状況を未来永劫続けることができるのかが今後の懸念事項の一つであろう。

それから、国産より輸入の方が安価であるということは価格競争力の問題でもあり、日本国内の生産コストが相対的に高いことを意味する。日本でも古来より先人の尽力により、食料の生産コストを下げするために、圃場の大規模化、農業機械や省力栽培技術の開発などが行われ、労働時間は大幅に短縮され、そのことが生産コストを低減させた。しかし、食料の生産コストは、このような生産技術のみならず、1農家あたりの経営面積や土地の値

段に大きく支配され、経営面積が小さく地価の高いわが国では、規模拡大がむつかしいことなどのため、どうしても農産物価格が高くなる²⁾。とすれば、国内の農業生産性を高めるためにはどうすればよいのだろうか。効率的に付加価値の高い農産物を生産する必要性が指摘されている。

近年、国内のあらゆる産業において労働力不足が深刻化している。農業も例外ではなく、農業の担い手不足が深刻な問題である。これまで日本農業を支えてきた層が高齢化（基幹的農業従事者の平均年齢は67.0歳、65%が65歳以上）し離農者が増加している。他方で、若年層が農業を継がずに他産業に就職するケースが多く、跡継ぎ不足が深刻化している。結果として、販売農家数は1990年の半数程度にまで減少してしまった。重労働である農業を何歳までも続けることは難しく、平均年齢は天井が近づいている状況にある。これまでは既存の農業従事者が体に鞭打って頑張り、平均年齢をそのままスライドさせることで高齢化の波に耐えてきたが、今後10年、20年と同じように耐えることは不可能である³⁾。

2018年12月8日に改正出入国管理法が成立した。深刻な人手不足に対応するため、2つの在留資格を新設し外国人労働者の受け入れを拡大する。新たに就労目的の在留が認められるのは人手不足が深刻な14業種に限定される見込みで、この業種には農業や漁業が含まれる。しかし、外国人が日本で労働と生活を営むにあたり、母国語と異なる日本語が言語障壁となり、日本文化に順応することが可能であるのかという不安は想像に難くない。

国連気候変動に関する政府間パネル

(IPCC) 第5次評価報告書によると、地球温暖化の原因は、人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な要因であった可能性が極めて高い（可能性95%以上）という。また、観測事実として温暖化については「疑う余地がない」とし、1880～2012年において、世界平均地上気温は0.85℃上昇した。将来予測は、今世紀末までの世界平均地上気温の変化予測は0.3～4.8℃である可能性が高く、CO₂の総累積排出量と世界平均地上気温の変化は比例関係にあるため、これからの数十年でより多くの排出を行えば、その後はより多くの排出削減が必要となると結論付けている⁴⁾。最早、「緩和」に加えて「適応」の2つの気候変動対策への取り組みが必要とされる。COP24ではジオエンジニアリングが検討される見込みとなっているが、試行とはいえ実行するとなれば劇薬となりかねない懸念も生じている。

1.2. スマート農業

これらの背景を踏まえ、幾多もの課題の解決策としてあらゆる方策が求められるが、その内の有力な一つとしてスマート農業が挙げられ、その実現が急務である。

スマート農業とは「農業の生産から販売までの各分野がICTをベースとしたインテリジェンスなシステムで構成され、高い農業生産性やコスト削減、食の安全性や労働の安全等を実現させる農業である。それぞれのシステムが有機的に連携・統合化され、農業の最終目標である持続的農業や低投入農業を強く意識してシステム化された農業」である⁵⁾。

1.3. 本研究の目的

本研究の目的は、①食料自給率の向上、②付加価値、競争力の向上と輸出の拡大、③労働力不足の解消（外国人を含む新規就農）、④全地球的中長期的課題への対策を課題として、スマート農業を実現するために必要な従来技術と第4次産業革命の中核的技術を筆頭に各種技術要素の概要、特徴と先行研究および実用化例を述べ、どのように適用が可能であるかを検討する。そして、スマート農業によって実現したい要件を整理して提唱することで、将来の6次産業化を実現する農業・農村のランドデザインを描くことにある。

第2章 スマート農業を実現するための技術要素

2.1. クラウドコンピューティング

2.1.1. クラウドコンピューティングの概要

「クラウドコンピューティングとは、ネットワーク、サーバ、ストレージ、アプリケーション、サービスなどの構成可能なコンピューティングリソースの共有プールに対して、便利かつオンデマンドにアクセスでき、最小の管理労力またはサービスプロバイダ間の相互作用によって迅速に提供され利用できるという、モデルの1つである」とするのが、NISTによる定義である⁶⁾。簡略化を試みると、「インターネット経由で様々なITリソースをオンデマンドで利用することができるサービスの総称」と定義しても良いだろう。

クラウドのサービスは、主にSaaS、PaaS、IaaSの3つのタイプがある。クラウドの配置モデルには、プライベートクラウド、パブリッククラウド、ハイブリッドクラウドの3つがある⁷⁾。従前からのシステム運用形態として、

オンプレミスや外部へのアウトソーシング、ホスティングなどがある。それぞれに長所、短所があるため、システムを構築するうえで、どのように組み合わせるかが鍵となる。また、クラウドに欠かせない5つの特徴として、①オンデマンド・セルフサービス、②幅広いネットワークアクセス、③リソースの共有、④迅速な拡張性、⑤サービスが計測可能・従量課金が可能という点が挙げられる⁸⁾。一般的に、利用者は使いたいサービスだけを従量課金で利用できて、初期投資や開発、運用保守に係る固定費を抑制、経費として変動費化し、機能の伸縮拡張性にも優れるのが利点とされる。

2.1.2. 農業クラウドサービス

農業クラウドサービスはインターネットの普及に伴い、各種の情報分析サービスを可能にし、圃場現場やトラクタ、コンバイン等の移動体からのデータの収集・分析と、リアルタイム制御を可能にしている。農業機械や各種農業施設の高度化・スマート化には、より柔軟にクラウド利用を可能にするオープンプラットフォームの普及と農村空間の全域をカバーする通信環境の整備が欠かせない。これらサービスの実現には当面、モバイル通信網(LTE等)の農村部への普及拡大が急がれる。スマホをデータ通信の中継に使うことで、システムの単純化と互換性を実現できる。また圃場に設置した各種センサーと現場のデータのリアルタイム収集はスマート農業の基盤であり、それを支える高速・低コストの通信網の開発と規格化が必要となる⁹⁾。

農業の研究・調査はもとより生産、流通・加工、販売・消費のフードチェーンを主軸として、各工程あるいは複合して跨る工程にそ

れぞれ対応したクラウドサービスを開発、提供、利用可能である。従来からの作業を省力化、効率化、電子化する効果に加えて、新しい方法論をも誕生させつつある。現存する主な農業クラウドサービスのブランドとして、Akisai（秋彩）（富士通）、栽培ナビ（Panasonic）、農業ICTソリューション／アグリネット（NEC・ネポン）、GeoMation（日立）、KSAS（クボタ）、スマートアシスト（ヤンマー）、フェースファーム（ソリマチ）などがある。

例えば、Akisai（秋彩）は、生産工程向けに農業生産管理SaaS、施設園芸SaaS、圃場環境センサーなど、流通や経営向けを含めて多数のサービスから構成される¹⁰⁾。KSASでは経営者（PC）、作業員（スマホ）、メーカー、農業機械がクラウドを介して相互にデータを送受信する。主な機能は、電子地図による圃場管理、作付計画、作業記録（日誌）や栽培履歴の作成、農業機械の監視や保守支援がある。また、データを収集して各種の情報分析サービスが提供され、リアルタイムで食味・収量の分析や経営指標の出力を実現している¹¹⁾。

2.1.3. 農業データ連携基盤（WAGRI）

「農業データ連携基盤」（通称：WAGRI）は、農業を総合的に支援するためのデータプラットフォームの構築を目指している。農業の担い手がデータを使って生産性の向上や、経営の改善に挑戦できる環境をつくるために、データの連携、共有および提供機能を持つ。農業に関連するデータは、気象などの環境データ、作物情報、生産計画・管理、技術ノウハウ、各種統計等多種多様なものが存在す

る¹²⁾。従来から個々の生産者、農協、農機メーカー、ITベンダーなどが、個々の現場に対応する情報化、情報システムの構築に取り組んできた。しかし、個々のシステムで生じるデータは、今まで分散して存在していたり、形式やフォーマットが異なるため互換性が無かった¹³⁾。言わばクローズデータであり、他への再利用性にも乏しかった。そこで、統一性を図り、データの標準化と再利用性を高めることを目的として、農業に関連するデータを集約、蓄積する。

WAGRIは2018年2月末現在、井関農機やNEC、NTTなど124社が会員となっている。2018年3月12日に開催された「農業データ連携基盤フォーラム」では、会員各社の主な取り組みが紹介された。NECソリューションイノベータ執行役員の島津秀雄氏は、「農業データ連携基盤にトラクターやスマートフォンで把握した位置情報などと気象データを組み合わせて、時系列で地域の農業者が相互に作業状況を確認できる」と説明した。また、ビジョンテック鳥取出張所長の岡田周平氏は、データプラットフォームを活用して水稲発育システムの予測精度を効率的に改善するプロジェクトを紹介した。18年度は過去のデータを基に予測精度の向上に取り組み、19年度に現場での実証を予定している。岡田氏は「気候の温暖化などによって、精度の高い発育ステージの情報が求められている」と語った。さらにデータプラットフォーム向けに、声だけで農作業を記録できるよう農業用に認識率を高めた音声認識技術や、手書き文字認識技術も紹介された。農業生産者の立場で登壇したWAGRI普及戦略担当ディレクターの末澤克彦氏は「音声認識は農作業しながら記

録や意思決定、判断支援ができるので必要不可欠」と語った。さらに末澤氏は「農業生産者は生育予測を基に、出荷計画から逆算して作付けや作業管理まで無駄のない計画を簡単に作成したい。効率的な経営ができるように使いやすい道具にしてほしい」と各社の取り組みに期待を述べた¹⁴⁾。

2.2. M2MからIoTへ（ネットワーク）

2.2.1. ネットワークと

通信インフラストラクチャー

農業のスマート化には機械本体の他、センサー情報やモニタリング情報の活用が鍵となる。農業機械、作業者のウェアラブル型機器、フィールドセンサー、栽培施設、サーバ等あらゆる生産要素がノードとなってグリッド網を構築し、自律的かつリアルタイムにM2M通信を行う需要が生じる。また、これらがクラウドとシームレスに連携できる環境が必須となる。それらに必要な通信技術の要件として、使用用途、通信距離、通信速度、電波伝搬特性、信頼性、安定性、インフラの有無およびコスト等を比較考量する必要がある。WANとLANに分けて考えると、WANへの接続はFTTHやLTEが理想的である。中山間地域では特に通信インフラの有無が課題となる。LANは無線に優位性があると考えられ、例えば圃場や施設内では無線LAN(2.4GHz/5GHz)に加えてプラチナバンドの920MHz帯域が有力候補となる。電波の周波数帯は逼迫しているが、920MHz帯域がISMバンドとしてRFIDに割り当てられた。これらの周波数帯はスマートメータやセンサーネットワーク用の周波数として期待されている¹⁵⁾。

2.2.2. インターネット

インターネットは地球上のどこでも利用が可能となりつつある。その接続機器は据え置き型のコンピュータから、フィーチャーフォン、スマートフォン（スマホ）およびタブレットを利用するモバイル時代が到来した。今後NUIを備えたウェアラブル型機器の開発が進展し、ユビキタスコンピューティング環境が本格的に実現しつつある。需要面からは、IPv4からIPv6への移行が進み、従来以上にM2M通信を活用する余地がでてきた。IoTという概念により、インターネットに接続されるデバイス数が爆発的に増えると見込まれ、将来的にはIoEが提唱されている。移動通信システムやBWAサービスも展開されており、無線LAN(Wi-Fi)の環境も増えている。これらにより、定額制で高速な常時接続のブロードバンドサービスが一般的となった。通信速度は、数十年前まではbps相当であったのに対し、有線でも無線でもGbps相当と実に十億倍のオーダーで飛躍的に向上した。将来には、衛星インターネットアクセスも開始予定である¹⁶⁾。

2.2.3. M2M

「モノにセンサーを組み込み、データを収集する」という仕組みは、IoTという言葉が登場する前から存在した。1964年に開通した新幹線、1974年に運用が始まった「地域気象観測システム：アメダス」、1970年代に始まった生産設備の自動化などでも、同様の仕組みが使われていた。しかし、それらはどれも特定の業務目的に特化したもので、他のサービスで利用されることは想定されていなかった。そのような仕組みはやがてM2M

(Machine to Machine) と呼ばれるようになる¹⁷⁾。

2.2.4. IoT

IoTとは、「Internet of Things」の略で、「モノのインターネット」と訳されることが多い。電車やクルマ、工場やビル、製造機械や飛行機のエンジン、冷蔵庫や洗濯機、農地や牧場の牛など、あらゆるものをネットワークに接続することで、それぞれの最新状態を示すデータを集め、その分析から、より最適な状態に導くようにフィードバックを返すという、一連の流れを指している¹⁸⁾。

IoTには大きく分けて2つの意味がある。1つは、「現実世界の出来事をデジタルデータに変換し、ネットに送り出す機器や仕組み」である。モノに組み込まれたセンサーが、モノ自体やその周辺の状態や変化を読み取りネットワークに送り出す技術、その技術が組み込まれた機器、またはこれを実現するための通信やデータ管理のサービスを言う場合が該当する。もう1つは「デジタルデータで現実世界を捉え、アナログな現実世界を動かす仕組み」である。モノから送り出された現実世界のデータをサイバー世界の機械学習で分析し、規則性や最適な答えを見つけ出し、それを使って機器を制御して、人にアドバイスを与えるなどして現実世界を動かし、その動きを再びセンサーで読み取り、ネットに送り出す一連の仕組みを言う場合である。

IoTがかつてのM2Mと本質的に異なるのは、センサーを搭載した機械やモノの数が桁違いに多いこと、インターネットやクラウドというオープンな仕組みの上で様々なつながりや新たな組み合わせを生み出せる点であ

る¹⁹⁾。

2.2.5. LPWA

IoT時代においては、多様なアプリケーションの通信ニーズに対応することが求められるが、現在開発・提供等が進んでいるのがLPWA (Low Power Wide Area) と呼ばれる技術である。LPWAの通信速度は数kbpsから数百kbps程度と携帯電話システムと比較して低速なものの、一般的な電池で数年以上運用可能な省電力性や、数kmから数十kmもの通信が可能な広域性を有している²⁰⁾。

2.2.6. 移動通信システム（携帯電話通信網）

移動通信のシステムは、音声主体のアナログ通信である1Gから始まり、パケット通信に対応した2G、世界共通の方式となった3Gを経て、現在ではLTE-Advanced等の4Gまでが実用化されている。これに続く次世代のネットワークとして注目されているのが5G、即ち第5世代移動通信システムである。

5Gは2020年の実現を目指し、世界各国で取組が進められている。グローバルの携帯電話事業者による業界団体GSMAによれば、2020年以降世界の5G回線数は、約5年で11億回線、世界人口に対するカバー率は約3割に達すると予測している。

これまで1Gから4Gに至るまで、通信速度の向上が進んできた。5Gもより高速化を実現するものであるが、5Gはそれだけでなく、「多数同時接続」、「超低遅延」といった特徴を持っている。4Gまでが基本的に人と人とのコミュニケーションを行うためのツールとして発展してきたのに対し、5Gはあら

ゆるモノ・人などが繋がるIoT時代の新たなコミュニケーションツールとしての役割を果たすこととなる²¹⁾。

2.2.7. ISO 11783とISOBUS

農業機械における情報通信プロトコルの共通化と標準化は非常に重要であり、欧米では長い議論と年月の末に国際標準であるISO 11783が制定された。日本においても、近年通信制御プロトコルの標準化に関する取り組みが農研機構を中心に進められている。ISO 11783は農業機械の内部、あるいはトラクタと作業機等の農業機械の間で、走行速度やPTO回転数等の情報を送受信する際の通信プロトコルであり、国際標準ISO 11783を基に、実装や適合試験（対象の機器が規定に合致するかどうかを確認する試験）に関する項目を業界団体（AEF：Agricultural Industry Electronics Foundation）が規定したものをISOBUSと呼ぶ²²⁾。

ISO 11783では、トラクタ等の農用車両や作業機に搭載された電子制御ユニット（ECU）、あるいは作業者が使用する情報表示・操作装置、GPS等のセンサー等のISOBUS対応機器が、それぞれインプレメントバス（作業機バス）と呼ばれる1組の配線に接続されてネットワークを構成し、これらの機器が相互に情報通信・連携することで必要な機能を提供する²³⁾。

2.3. ビッグデータ・オープンデータ

（データベースとデータサイエンス）

2.3.1. ビッグデータ

ビッグデータという用語が使われるようになった頃は、ビッグデータの定義や特性は何

かということが議論され、Volume（量）、Variety（多様性）、Velocity（速度）のいずれも大きいような3Vの性質を備えたデータがビッグデータであるとする議論もなされた。計測技術や通信技術の飛躍的發展により、これまで観測できなかったものが観測できるようになり、観測されるデータが大幅に増えてきた。今後も携帯電話の通信速度や容量の増加、データのストレージコストの低下、センサーの低価格化などが確実視されており、ビッグデータ時代はますます急速に進んでいくものと予想される²⁴⁾。

農業分野で見ると、まず作物栽培に直接関連するものだけでも、気温、降水量、日照量、風向、風速などの気象データ、土壌水分量、土壌EC値などセンサーによって取得可能な数値がある。植物工場などでは、これらのデータは制御機器に対して非常に高頻度でデータを送信し、機器の制御に活用されている（M2M）。さらに、栽培に関わる農作業、施肥、農薬散布履歴などの管理情報、投入資材、収穫量、出荷価格など農業従事者によって収集・蓄積されているデータがある²⁵⁾。

2.3.2. オープンデータ

オープンデータは、公共性の高い情報を、自由に編集・加工などができるように、オープンライセンスで提供するものである。狭義では行政情報、広義では民間事業者や個人などが提供する情報も含む。政府や自治体が保有するオープンデータは、民間事業者が提供するオープンデータと区別するために、「オープンガバメントデータ」とも呼ばれる²⁶⁾。

我が国では、2012年7月に内閣官房IT総合戦略本部が策定した「電子行政オープンデー

タ戦略」などにに基づき、政府や独立行政法人、地方公共団体、公益企業等が保有するデータの公開と再利用の促進に向けた施策が進められてきた。特に官民データ活用推進基本法において、「国及び地方公共団体等が保有する官民データの容易な利用等（第11条）」が基本的施策として定められたことを受け、2017年5月には、内閣官房IT総合戦略本部が今後のオープンデータに関わる施策の基本指針をまとめた「オープンデータ基本指針」を公表している。同基本指針では、公共データにつきオープンデータを前提として情報システムや業務プロセス全体の企画、整備及び運用を行う「オープンデータ・バイ・デザイン」の考え方にに基づき、政策企画・立案の根拠となったデータを含め、各府省庁が保有するデータはすべてオープンデータとして公開すること、各省庁のウェブサイト公開されるデータについては政府標準利用規約を適用し公開データの二次利用を積極的に促進すること、機械判読に適した構造・データ形式で掲載することなどの原則を提示している²⁷⁾。

2.4. 人工知能（AI）（ソフトウェア）

AIとは、「Artificial Intelligence」の略で、日本では「人工知能」と訳される。概ね、人間がおこなう知性、知能、知的な作業をソフトウェアで実現する技術や研究を意味している。しかし、人工知能の統一的な定義は専門家の間でも定まっていなとも言う。人工知能の研究はどこまで進み、どのようなことが実現されているのであろうか。

人工知能研究は、これまで「ブーム」と「冬の時代」を繰り返してきた。第1次AIブームは推論・探索の時代、第2次AIブームは

知識の時代、第3次AIブームは機械学習と特徴表現学習の時代である。人工知能をエージェントと考え、その入力と出力の関係から考えると、表1に示す段階に分類できる²⁸⁾。

表1 人工知能の分類²⁹⁾

段階	概要
レベル1	単純な制御プログラム
レベル2	古典的な人工知能 対応のパターンが非常に多いもの
レベル3	機械学習を取り入れた人工知能 対応パターンを自動的に学習するもの
レベル4	深層学習を取り入れた人工知能 対応パターンの学習に使う特徴量も自力で獲得するもの

人間の認知機能とは、五感（視覚・聴覚・嗅覚・触覚・味覚）などの感覚を受容していく機能と定義する。人工知能が高度化する過程では、これらの機能を担うことが含まれるだろう。そして、現在は第3次AIブームが進行中で、レベル4が実現されつつあるということは、人間の視覚（目）や聴覚（耳）が代替可能になりつつあることを意味する。

農業は観察が基本である。そして、重要な農作業として、生育診断、病虫害診断および防除が挙げられる。人工知能を応用した先行研究、実用化の事例として、米国のベンチャー企業ブルー・リバー・テクノロジーが、レタス栽培用に開発したトラクターのレタスポットがある。レタスポットは、農業用トラクターに農薬散布用のロボットユニットを取り付けたもので、カメラを内蔵し画像認識によってレタスの苗一つ一つの生育状況に応じた農薬の散布を可能としている。これまで、農薬の

散布はトラクターやラジコンヘリコプターによって時期や回数を決め、農場全体に対して農薬を散布する「面」での対応が常識であった。しかし、面での対応は収穫量を安定させる代わりに、大量の農薬散布による土壌悪化やコストアップを招く要因であった。本来は人間が苗を一つ一つ確認し生育状況に合わせて、農薬の種類と量を調整するべきであるが、手間がかかり現実的ではなかった。レタスロボットによって、「面」から「点」での農薬散布が可能となり、農薬の使用量とコストを抑制する効果を生じた³⁰⁾。

また、ドイツのベンチャー企業ピートは、農作物の病気や診断やアドバイスを行っている企業であるが、同社は植物の写真を撮るだけで病気の診断が可能なスマートフォンのアプリPLANTIXを開発した。このアプリはディープラーニング（深層学習）を用いて、植物の病変と思わしき葉の特徴や色をもとに90%を超える精度で60以上の病気を診断することが可能である。更に、送信する写真データに位置情報の付加をユーザーに促すことで、病気の広がりや分布をリアルタイムで共有、把握することを可能にした。小さな情報を互いに提供しあい集約することで、大規模な不作につながるような農作物の病気の流行に警鐘をならす早期警戒システムの役割も果たす³¹⁾。

2.5. ロボット／ロボティクス

(ハードウェア)

2.5.1. 農林業におけるロボットの需要

農林業では、遠隔操作、また将来的には自動制御機能を備えたロボット・建機等を導入することによって、業務量を省力化すること

が期待できる。既に、農作業用ロボットやサービスロボットを機能（サービス）と一緒に貸し出すRobot as a Service (RaaS) 事業の実例もあり、今後企業等にとってロボット導入に係る障壁は下がるであろう。また、特定の業務に係る障壁が下がることで、参入促進や新たなサービス提供の余地も生まれ、業態として脱高コスト化が進展することも予想される³²⁾。

2.5.2. 農業ロボット

農業ロボットも1980年代から研究が着手され、既に様々なロボットシステムが開発されてきた。農業ロボットは施設園芸や植物工場など屋内で使用されるロボットと圃場のような土地基盤型農業で使用されるロボットに大別される³³⁾。代表的な事例を挙げると、田植えロボット、ロボットトラクタ、自脱コンバインロボット、大豆コンバインロボット、イチゴ収穫ロボット、人間協調型ロボットなどである。

EUでは2012年から第3世代の農業ロボット研究プロジェクトがスタートした。EUで定義している第2世代ロボットとは既存のトラクタ、コンバインなどをロボット化することであり、一方第3世代のロボットとは小型ロボットを開発して、その小型ロボットが複数連携して超精密な農作業を行うシステムを指す³⁴⁾。

2.5.3. 農業用ドローン

無人で遠隔操作や自動制御によって飛行できるドローンは高機能化と低価格化が進み、個人が趣味に使うほか、高所・遠隔地でのモニタリング等企業での活用も広がってきてい

る。既に実用化の事例として、農薬散布や診断用途に供されている。

2.6. 測位・地理空間情報

2.6.1. GIS

2007年に施行された地理空間情報活用推進基本法では、地理情報システム（GIS）を「地理空間情報の地理的な把握又は分析を可能とするため、電磁的方式により記録された地理空間情報を電子計算機を使用して電子地図上で一体的に処理する情報システム」と定義している。ここで、地理空間情報とは、空間上の特定の地点や区域の位置を示す情報、これらの位置情報に関連づけられる時刻を含めた属性データのことを指している。GISの利点は様々な種類のデータを統合的に管理できること、データの視覚化によって情報がわかりやすくなり、意思決定を支援すること、位置情報を利用した解析が可能となること、そしてデータの共有システムとして機能することが挙げられる³⁵⁾。

2.6.2. GNSS

GNSS（Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム）は、GPS、GLONASS、Galileo、準天頂衛星（QZSS）等の衛星測位システムの総称である³⁶⁾。

2.6.3. GPS

GPS（Global Positioning System）は、アメリカ合衆国によって、航空機・船舶等の航法支援用として開発されたシステムである。このシステムは、上空約2万kmを周回するGPS衛星（6軌道面に30個配置）、GPS衛星の追跡と管制を行う管制局、測位を行うため

の利用者の受信機で構成されている。航空機・船舶等では、4個以上のGPS衛星からの距離を同時に知ることにより、自分の位置等を決定する。GPS衛星からの距離は、GPS衛星から発信された電波が受信機に到達するまでに要した時間から求められる。衛星から発信される電波には、衛星の軌道情報・原子時計の正確な時間情報等が含まれる³⁷⁾。

2.6.4. 準天頂衛星システム（QZSS）

「みちびき」

みちびき（準天頂衛星システム）とは、準天頂軌道の衛星が主体となって構成されている日本の衛星測位システムのことで、英語ではQZSS（Quasi-Zenith Satellite System）と表記する。衛星測位システムとは、衛星からの電波によって位置情報を計算するシステムのことで、米国のGPSがよく知られており、みちびきを日本版GPSと呼ぶこともある。4機以上の衛星で衛星測位は可能であるが、安定した位置情報を得るためには、より多くの衛星が見えることが望ましい。しかし、GPS衛星は都市部や山間部ではビルや樹木などに電波が遮られて可視衛星数が減り、位置情報が安定的に得られないことがあった。2018年11月から、みちびきは4機体制で運用を開始しており、このうち3機はアジア・オセアニア地域の各地点では常時見ることができる。みちびきはGPSと一体で利用できるため、安定した高精度測位を行うことを可能とする衛星数を確保することができる。GPS互換であるみちびきは安価に受信機を調達することができるため、地理空間情報を高度に活用した位置情報ビジネスの発展が期待されている³⁸⁾。

オーストラリアとは、2015年2月に、シドニーにおいて通信省との間で、第1回日豪ICT政策対話を開催し、準天頂衛星を活用したG空間プロジェクトの推進等について合意し、2016年10月及び12月にはその一環として、豪州北部地域において同衛星の高精度測位機能を活用した農機の自動走行や、ドローン等によるセンシング情報に基づく農作業の効率化に関する実証を実施するとともに、2017年2月には豪州政府、大学、農業関係者等を対象としたワークショップを開催した。また、同年1月の安倍総理訪豪に際し、共同プレス発表において準天頂衛星の利活用が取り上げられた。2018年2月には西豪州において高精度な農作物データの収集・分析に関する実証を実施するとともに、これまでの実証実験の結果等を、シドニー及びメルボルンで開催された準天頂衛星システム産業利用に関する日豪ワークショップにおいて産学官の関係者と共に情報共有し、豪州における準天頂衛星の活用に対する期待が高まった³⁹⁾。

2.7. リモートセンシング

リモートセンシングは対象を遠隔から計測する手段で、人工衛星や航空機からの広域観測がよく知られている。天気予報の際に紹介される雲の動きの衛星画像や地図検索の際にでてくる航空写真などはその例である。一方、比較的近距离の場所から対象を計測する場合には画像計測と呼ぶ場合が多いが、離れた場所からを強調したい時には、この場合にもリモートセンシングを使用する。農業分野では、広域観測に加えて、空間解像度も高く、高頻度あるいは連続観測ができる近距离からのリモートセンシングが有効である⁴⁰⁾。

リモートセンシングの特徴は、目で見える可視光だけでなく、目で見えない電磁波を波長別に分光し、対象からの分光反射や放射などの画像を計測する点にある。例えば、可視から近赤外域の分光反射や熱赤外（温度）放射の受動的リモートセンシングは、植物や土壌の情報を得るのに適しており、広域、近距离に関係なく農業分野ではよく用いられる。また、レーザやマイクロ波などを計測対象に照射し、対象までの距離や対象からの反射、蛍光などを計測する能動的な方法も発達してきている⁴¹⁾。

第3章 スマート農業によって実現したい要件

3.1. データプラットフォームとしての役割

クラウドは強力なデータ収集機能を持ち、ビッグデータの基盤となる。オープンデータとして整備、公開される事例も増え、データ駆動型農業の実現には必要不可欠である。そして、近い将来に農業データ連携基盤（WAGRI）が本格提供される見込みである。

データプラットフォームがなぜ重要なのか。データは「21世紀の石油」とも言われるように、その利活用が国のあり方とその発展に大きな影響を与えることとなる。ただし、データを多く集めること自体には必ずしも価値はなく、そこから取り出される様々な意味や知見にこそ価値がある。さらに、AIの分析精度向上や様々な領域での活用により新たな価値を生み出すためには、データの量だけではなく、その種類・質が重要であり、多種類（多分野、多サービス）の高品質（高精度、高精細）なデータを大量にもっていることが

競争力を左右するだけではなく、イノベーションの源泉にもなる⁴²⁾。

IoTの進展に伴って収集可能なデータも指数関数的に増加する。データ駆動型とは観測技術の発展とともに大量のデータが得られ、データから新たな知見が得られることを言う。データ駆動型農業を実現するにあたり、ビッグデータから新たな科学的発見を見出すことが重要になる。

例えば、ピート社のビジネスモデルは、スマホで画像データを撮影し、位置情報を付加し、そのデータをインターネット経由で送受信して（単独のサーバーでも良いし、クラウドをプラットフォームとすることも可能であろう）、ビッグデータとして収集し、人工知能の深層学習で診断の精度を向上させるということになる。人工知能のみならず、前後で述べている技術要素を複合させることで実現される仕組みである。先述の農業データ連携基盤（WAGRI）が目指す方向性にも合致し、今後の典型的なモデルパターンの一つとなる。

3.2. データの知的財産権と管理

データの所有や利用に関する権利をどう考え、知的財産権の観点からどう保護するか、法的小よび技術的にどう管理するかである。これは情報セキュリティの確保やプライバシーの保護とも密接不可分でもある。

元来、篤農家の技術は職人技であり、技術継承が困難であるという問題があった。そのような中で「見える化」や記録、保存が試みられてきた。ノウハウの安易な漏洩は防止したい反面、技術継承のニーズもある。言わば、農業ナレッジマネジメントの構築が求められている。

日本の農業分野においては緒に就いたばかりであるが、世界ではGAF（Google, Apple, Facebook, Amazon）に代表されるように、データの集中と寡占化が進んでいる。こうした動向に対して、欧州連合（EU）では個人情報（データ）の保護という基本的人権の確保を目的とした、GDPR（EU一般データ保護規則）が施行されている。また、日本政府は国境をまたぐデータ流通のルール作りに向け、米国、欧州連合（EU）と本格調整に入る見込みだ。個人や産業のデータ移転を相互に認めて「データ流通圏」を構築する一方、個人情報を保護する体制が不十分な国へのデータ移転は厳しく制限する⁴³⁾。

農産物の付加価値向上のためには、栄養や品質の向上も欠かせないが、ブランドを育成、保護するという発想も大切である。そして、輸出競争力を高めるためには、輸出相手国の法律、制度、規制をクリアしなければならない。そこで、日本の食品規格や地理的表示が海外で受け容れられるかが鍵となるが、これに追い風となる動向も出てきている。一つは、農林水産省が官民で推進する日本の食品安全規格について、世界食品安全イニシアチブ（GFSI）が、日本国内の食品メーカー向けの規格「JFS」と農家向け規格「ASLAP」の2つの規格を審査した結果、グローバル企業が求める安全基準に達していると判断した。JFSやGAPを持つ企業などは海外向けに規格を別途、取り直さずに済む⁴⁴⁾。もう一つは、政府が欧州連合（EU）との経済連携協定（EPA）の承認案とともに、食品のブランド名称保護を強化するための改正法案を国会に提出した。産地と結びついた食品や酒類のブランド名称は地理的表示（GI）と呼ば

れ、国際的に知的財産と認められている。日欧EPAは幅広い品目で関税を撤廃・削減して自由貿易圏をつくるだけでなく、知的財産権の保護でも合意した。日欧EPAが発効すれば、日本のGIを欧州で一括保護してもらえ、国内の生産者は模倣品による権利侵害を防ぐことができる⁴⁵⁾。

3.3. 就農促進への寄与

農業の担い手をどう確保し、育成するか、就農促進への寄与である。作業現場において最も問題となりうるのが作業習熟度と言語・非言語コミュニケーションであろう。そのため、一層作業工程の工学的アプローチ（簡素化、合理化、教育研修、ディレクション、マニュアル化（Web、テキスト、静止画、動画、音声、CG、AR、VR））が求められ、それらのバックボーンとなろう。

改正出入国管理法の成立により、農業の作業現場に外国人労働者の増加が見込まれている。外国人が日本で就労し生活する期間は、日本の文化や生活に順応する意味でも、日本語の学習に励み、上達が望まれる。特に母国語が非漢字圏の外国人は漢字の習得を難しく感じるほか、日常生活や働く際のコミュニケーションに悩んでいることが多い。そして、新在留資格「特定技能1号」は、単純作業など比較的簡単な仕事に就くことを想定している。しかし、農業の作業現場では労働災害に至る危険な局面もあり、事故防止や作業の誤謬を未然に防ぐためにも日本語による円滑な意思疎通が図れるに越したことはないし、寧ろそうあるべきである。したがってオンラインによる日本語学習や農作業のe-Learningコンテンツの提供やリアルタイム自動通訳・自動

翻訳機能の需要は大きく、それらの開発、作成、提供が望まれる。

3.4. 6次産業化の推進 生産性と収益性の向上

農林漁業の6次産業化とは、1次産業としての農林漁業と、2次産業としての製造業、3次産業としての小売業等の事業との総合的かつ一体的な推進を図り、農山漁村の豊かな地域資源を活用した新たな付加価値を生み出す取り組みである。これにより農山漁村の所得の向上や雇用の確保を目指している⁴⁶⁾。

スマート農業は6次産業化を有機的に推進する手段となり、農業の生産性と収益性を向上させることが目標である。上流から下流までシームレスに展開できることが望ましい。特に経営、会計、販売（EC含む）、輸出貿易、マーケティング、教育、広報からSNSまで、大規模のみならず中小規模農家にも福音をもたらす。

世界の中で和食を含めた日本食に注目が高まっている。2015年ミラノ国際博覧会は、「Feeding the Planet, Energy for Life（地球に食料を、生命にエネルギーを）」をテーマとして開催された。日本も日本館を出展し、出展内容は日本食文化の展示と実際に実食が可能な本格日本食レストランとフードコートで構成されていた。BIE（博覧会国際事務局）が主催し、優秀なパビリオンを決定する褒賞制度（パビリオンプライズ）において、日本館は展示デザイン部門で「金賞」を受賞した。また、日本館はミラノ万博のパビリオンの中でも最も人気のある館の1つであったと言う。イタリアで最大発行部数を有する全国紙「Corrieredella Sera」のイベント情報冊子「ViviMilano」のWebサイト上では、ミラノ

万博の人気投票を実施した。その結果、ミラノ博覧会には145の国や3つの国際機関が出展する中、日本館は多くの項目で上位にランクインした。日本館の入場を待つ行列は最長10時間を記録するという好評を博したのであった⁴⁷⁾。これは日本食の外需がある一つの証左とみなすことができ輸出拡大の需要があると共に、インバウンド旅行者に対するインセンティブともなる、すなわち内需喚起効果も生じる。

3.5. 3K・6Kの克服

日本農業の根本的な課題の一つは、ビジネスとしての魅力に乏しいことである。魅力のない産業にヒト・モノ・カネは集まらない⁴⁸⁾。労働環境の苛酷さを揶揄する言葉として3K（きつい、危険、汚い）という言葉がある。更に「給料が安い、休暇が少ない、カッコ悪い」が加わって6Kという言葉も登場しているようだ。農業の一部について3Kと指摘する向きもあるようだが、ブラック企業という言葉が一般化しつつある昨今では、全産業で起こりうる話ではあるものの、法令順守の観点に立ってそのような事態を回避しなければならない。仕事の性質から考えると全てのリスクをゼロにすることは無理でも、ゼロに近づけることは可能であり、それが科学や技術の使命でもある。筆者が大学生の就職活動の支援、指導を行っている時、業界、業種、職種および企業について根拠の無い印象に惑わされている場合もあると感じる。その情報の真偽を確かめるべきであるという、実はメディアリテラシーの問題でもある。また、生産者側からすれば適切な労働環境の構築に務め、PR点を情報開示すべき立場とな

ろう。逆境を好機と捉える発想の転換により新3K（高収入、きれい、かつこよい）を模索することも出来よう。

3.6. 生産等フードチェーンにおける

新しい方法論の確立

情報通信技術によってもたらされる本質は、高速計算・大量処理・正確性であり、個々の人間では到底不可能であった現実的でない（時間や費用に見合わない）作業を担わせる方向に進むだろう。この傾向は、現代の広告がマスメディアに掲載して（不）特定多数を対象とする広告に加えて、個人の嗜好を分析、対象として1人1人に個別展開するターゲティング広告が実現されていると言えば分かりやすいだろうか。例えば、化学的防除に加えて、物理的防除を施すことも視野に入ってくるし、気象観測、鳥獣害、盗難対策など総合監視機能を有する電子かかしを開発、運用することも考えられる。農業機械、ICT機器、人工知能（AI）およびロボットなど全てはプログラムにより制御される以上、理論的には多くをクラウドのサービスで賄うことも可能だ。従来から存在する技術のセンサ（気温、湿度、風速風向）、カメラ（可視、赤外、蛍光）、Webカメラ、スマホ、タブレット、ウェアラブル機器などをIoTで組み合わせたり、人間の手作業のみによって行っていた作業の部分あるいは全てを機械やロボットに任せたり、人間がパワードスーツやロボットスーツを装着することも珍しい光景ではなくなるだろう。シェアリングエコノミーの潮流にある、MaaS（Mobility as a Service）というサービスにも注目したい。乗用車や輸送車で先行しそうだが、今後コネクテッドカーや自動運

転車が普及し、電動化も進む。最早、移動機械や作業機械は情報通信技術機器とみなすべきであり、農林水産業にも導入が図られるであろう。

3.7. 食の安全・安心の確保

食の安全に関しては、フードシステムのどこか1か所でつまずいても深刻な事態となり、生産者、流通業者、生活者の全てを巻き込んだ問題となる。食の安全を脅かす食品危害は、薬物や化学物質による食中毒などの急性の健康被害、微生物や細菌による食中毒などの短期的な健康被害、環境ホルモンなどの影響による長期的な健康被害などである。危害要因としては、病原性微生物、化学合成農薬、硝酸態窒素、食品添加物、アレルギー物質、残留抗生物質、成長ホルモン、放射性物質、内分泌攪乱物質、遺伝子組換え体などがある⁴⁹⁾。

3.8. 魅力的な農村と生活様式の構築

日本においては戦後、三大都市圏を始めとする都市部への大きな人口流入により、都市部への人口集中が進展している。東京一極集中という言葉に象徴されるが、都市部では通勤時間の長さ、住宅価格の高さ、保育サービス、高齢者介護サービスにおける待機者など、生活環境面での多くの問題が生じている。そのような背景があっただけでなく、東京在住者の4割が今後地方への移住を予定又は検討したいと考えているという調査結果がある。そして、移住の不安としてあげるものは、「雇用」や「日常生活・交通の不便」であるという⁵⁰⁾。一方、農村の過疎化が著しく、地方によっては過疎化という最大の問題を抱え、平成の大

合併を経て、市町村の再編が進められてきた。だが、消滅可能性都市、2040年までに全国約1800市町村のうち約半数が消滅する恐れがあると発表された。

原点に立ち返って、居住環境については都市部と地方部の差は縮小しているとも考えられるし、土地や住空間の広さや自由度は後者の方が圧倒的に高い。最低限の生活インフラが整っていて、スマート農業に関連する仕事に事欠かない。ネットが使えれば、情報の非対称性、デジタルデバイドの解消、情報格差は無くなり娯楽も十分で、EC（電子商取引）で生活必需品から耐久消費財まで調達できる。上京ブームから回帰、UIJターンを後押しするような農村があれば、実際に勤務場所を選ばないIT系企業を筆頭に地方へオフィスを移す企業は増加している。

3.9. 気候変動対応と

再生可能エネルギーの活用

気候変動の影響は、我々の身近な食生活や農業、森林・林業、水産業にも及ぶ。例えば、コメの収量・品質にも影響があり、気温の上昇によりコメの白未熟粒や胴割粒の発生等、コメの品質の低下が、既に全国で確認されている。また、一部地域や極端な高温年には収量の減少も報告されている⁵¹⁾。

現在、わが国で利用されている主なエネルギー源は石油・石炭などのいわゆる化石燃料であり、採掘可能量に限りがある。これに対して、太陽光・風力・水力・地熱・太陽熱などの自然エネルギー、バイオマスエネルギー、廃棄物エネルギーなど、エネルギー源として永続的に利用することができると認められるものを総合して再生可能エネルギーとい

う⁵²⁾。緩和については、温暖化の要因となるガスの排出抑制が欠かせないため、農業のフードチェーンと農村には再生可能エネルギーの利用促進とエネルギー利用効率の向上が強く求められる。

3.10. 第5次産業革命への継承

よく人間の医学的・生理学的な仕組みはまだまだわからないことが多く、全ては解明されていないと言われる。農業を構成する要素、植物自体とそれを取り巻く環境（水利，土壌，気象，地球など）についても、解明したいことが多く残されている。特に生体である植物や動物の分子生物学による機構解明は、劇的に進化している。DNAの解読費用が低廉化していることや、簡単に遺伝子を切断，編集できる技術が発見されて以降競争が激しくなっている。第5次産業革命が到来するとなれば、中核的技術はバイオテクノロジーが本命と見込まれている。デジタルツインという概念に基づいて、実際の発現とモデルと遺伝子の関係について調査研究分野で検証作業の需要が高まるだろう。

第4章 おわりに

本研究ではスマート農業を実現するための主要な技術要素について整理し、スマート農業によって実現したい10の要件を提唱した。6次産業化を実現する農業・農村のランドデザインは、これらの要件を満たすものであり、今後も改善と検討を重ねていくことと、具現化に向けた研究を推進する必要がある。また、当然ながら10の要件にとどまること

もないだろう。筆者は歴史の長い産業ほど、新しい技術の導入によって革命や革新の起こる余地が大きいと考えている。現在では常識となっているスマートフォンや動画サイトも発想自体は古くからあり誰もが夢見たように、技術の進歩とインフラの発展により実現された。また、苦境、逆境は好機であることが歴史的な事例に習うことができる。そして、農林水産業に関する基礎的研究と知見は長年の蓄積があり、それはまるで地中に埋もれている膨大な種子が厳しい環境を耐え忍び、発芽を目前とした段階にあると思わざるをえない。日本と世界の農業様式がスマート農業として浸透するまでには作業も課題も山積しているものの、不可能であったことが可能になる時代が到来している。着実に1つずつ1歩ずつ実現していきたい。

〔謝辞〕

本研究において町田武美愛国学園大学教授より御意見や御指導を賜りました。ここに謝意を表します。

引用文献

WAGRI 協議会「農業データ連携基盤 (WAGRI)」

2018年, 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」, <https://wagri.net/>, (参照2018-11-24)

大豆生田崇志「農機メーカーなどがデータ連携、基盤の利用開始へ」2018年, 日経クロステック, <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO28046640T10C18A3000000/>, (参照2018-11-24)

環境省, 文部科学省, 農林水産省, 国土交通省, 気象庁『気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート2018 ～日本の気候変動とその影響～概要パンフレット』2018年2月, http://www.env.go.jp/earth/tekiou/pamph2018_full.pdf, (参照2018-12-15)

クボタ「KSAS クボタスマートアグリシステム」2018年, <https://ksas.kubota.co.jp/>, (参照2018-12-15)

国土地理院「GNSS連続観測システム GEONET GNSSとは」2018年, http://terras.gsi.go.jp/geo_info/GNSS.html, (参照2018-12-22)

古明地正俊, 長谷佳明『AI (人工知能) まるわかり』2017年, 日本経済新聞出版社

斎藤昌義『図解コレ1枚でわかる最新ITトレンド 増強改訂版』2017年, 技術評論社

神成淳司「農業データ連携基盤の構築について」2018年, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/suishinkaigo2018/nourin/dai6/siryou1.pdf>, (参照2018-11-24)

全国地球温暖化防止活動推進センター (JCCCA)「IPCC 第5次評価報告書特設ページ」2013年, <http://www.jccca.org/ipcc/ar5/wg1.html>, (参照2018-12-15)

総務省『平成30年版情報通信白書 (PDF版)』2018年, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/pdf/30honpen.pdf>, (参照2018-11-30)

武村彰通『データサイエンス入門』2018年, 岩波書店

内閣官房まち・ひと・しごと創生本部事務局「「地方への新しいひとの流れをつくる」現状と課題について」2018年2月, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/sousei/meeting/wakuwaku.../h30-02-14-shiryou2.pdf>, (参照2018-12-13)

内閣府宇宙開発戦略推進事務局「みちびきとは」

2018年, http://qzss.go.jp/overview/services/sv01_what.html, (参照2018-12-22)

日経ビッグデータ編『この1冊でまるごとわかる人工知能&IoTビジネス実践編』2017年, 日経BP社

日本経済新聞「日本の食品規格海外でも承認」2018年11月16日, 朝刊p.5

日本経済新聞「食品の地理的表示の定着を」2018年11月17日, 朝刊p.2

日本経済新聞「日米欧「データ流通圏」構築 不正持ち出しに課税金も」2018年12月18日, <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO39086550Y8A211C1MM8000/>, (参照2018-12-20)

農業情報学会編『スマート農業』2014年, 農林統計出版

農林水産省「ミラノ国際博覧会について」2015年11月, www.maff.go.jp/j/council/seisaku/syokusan/bukai_18/pdf/data5.pdf, (参照2018-12-17)

農林水産省「農林漁業の6次産業化」2018年, <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/sanki/6jika.html>, (参照2018-12-22)

農林水産省『平成29年度食料・農業・農村白書の概要』(PDF版)2018年, http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h29/pdf/gaiyou.pdf, (参照2018-11-19)

林雅之『オープンデータ超入門』2014年, インプレスR&D

富士通「食・農クラウド Akisai (秋彩)」2018年, <http://jp.fujitsu.com/solutions/cloud/agri/>, (参照2018-12-15)

堀江武『作物』2004年, 社団法人農山漁村文化協会

松尾豊『人工知能は人間を超えるか』2015年, KADOKAWA

三輪泰史, 井熊均, 木通秀樹『IoTが拓く次世代農業アグリカルチャー4.0の時代』2016年, 日刊工業新聞社

- 1) 農林水産省 (2018) p.15.
- 2) 堀江武 (2004) p.12.
- 3) 三輪泰史, 井熊均, 木通秀樹 (2016) pp.5-6.
- 4) 全国地球温暖化防止活動推進センター (JCCCA) (2013)
- 5) 農業情報学会編 (2014) p.8.

- 6) 斎藤昌義 (2017) p.145.
- 7) 斎藤昌義 (2017) pp.146-149.
- 8) 斎藤昌義 (2017) pp.154-155.
- 9) 農業情報学会編 (2014) pp.33-34.
- 10) 富士通 (2018).
- 11) クボタ (2018).
- 12) WAGRI協議会 (2018).
- 13) 神成淳司 (2018).
- 14) 大豆生田崇志 (2018).
- 15) 農業情報学会編 (2014) p.34.
- 16) 農業情報学会編 (2014) p.33.
- 17) 斎藤昌義 (2017) p.35.
- 18) 総務省 (2018) p.43.
- 19) 斎藤昌義 (2017) pp.32-35.
- 20) 総務省 (2018) p.13.
- 21) 総務省 (2018) pp.130-131.
- 22) 農業情報学会編 (2014) p.261.
- 23) 農業情報学会編 (2014) p.261.
- 24) 武村彰通 (2018) p.11.
- 25) 農業情報学会編 (2014) p.51.
- 26) 林雅之 (2014) p.5.
- 27) 総務省 (2018) p.18.
- 28) 松尾豊 (2015) pp.37-38.
- 29) 松尾豊 (2015) pp.37-38.と日経ビッグデータ編 (2017) pp.24-25.を基に作成
- 30) 古明地正俊, 長谷佳明 (2017) pp.92-93.
- 31) 古明地正俊, 長谷佳明 (2017) pp.93-94.
- 32) 総務省 (2018) p.114.
- 33) 農業情報学会編 (2014) p.271.
- 34) 農業情報学会編 (2014) p.61.
- 35) 農業情報学会編 (2014) p.43.
- 36) 国土地理院 (2018).
- 37) 国土地理院 (2018).
- 38) 内閣府宇宙開発戦略推進事務局 (2018).
- 39) 総務省 (2018) p.373.
- 40) 農業情報学会編 (2014) p.46.
- 41) 農業情報学会編 (2014) p.46.
- 42) 総務省 (2018) p.3.
- 43) 日本経済新聞 (2018-12-18).
- 44) 日本経済新聞 (2018-11-16).
- 45) 日本経済新聞 (2018-11-17).
- 46) 農林水産省 (2018).
- 47) 農林水産省 (2015).
- 48) 三輪泰史, 井熊均, 木通秀樹 (2016) p.9.
- 49) 農業情報学会編 (2014) p.308.
- 50) 内閣官房まち・ひと・しごと創生本部事務局 (2018).
- 51) 環境省, 文部科学省, 農林水産省, 国土交通省, 気象庁 (2018) .
- 52) 農業情報学会編 (2014) p.379.