

スマート農業の歴史的・技術論的位置づけ

—日本と中国を事例に—

李 海 訓

目次

- 1 はじめに
- 2 定住生活・農耕生活をもたらした2つの難題
 - 2.1 土壌の養分補充
 - 2.2 労働力の補充
- 3 「新しい農業」の課題
- 4 むすびに

1 はじめに

「中国製造 2025」は、米中貿易摩擦以降によく耳にするようになったキーワードである。「中国製造 2025」とは、これまでの「製造大国」から「製造強国」へのステップアップを図るための政策であるが、中国が 2025 年まで重点的に発展させたい 10 の産業が取り上げられている。そこには、次世代情報技術、高度なデジタル制御工作機械・ロボット、航空・宇宙設備、海洋エンジニアリング・高技術船舶、先進鉄道設備、省エネ・新エネ車、電力設備、農業機械、新材料、バイオ・高性能医療機器などが含まれる。

「農業機械」が 10 産業のうちの 1 つとして取り上げられていることに注目されるが、「中国製造 2025」でいう農業機械の発展とは、食糧、棉花、油、砂糖などのメジャー作物と戦略性経済作物の育種・耕作・作付・管理・収穫・運送・貯蔵にかかわる農業機械の発展を重点とし、大型トラクターおよびその作業機具、大型コンバインなどの高水準の農業機械およびその部品の発展を加速させることであり、さらには農業機械にかかわる情報収集、知能解決、精密作業能力を引上げ、農業生産の情報化に向けた全体的ソリューション能力の形成をはかることである¹⁾。ここでいう「情報収集」はビッグデータを、「知能解決」は AI²⁾ を、「精密作業能力」は GPS、赤外線センサー、高性能カメラなどを、「農業生産の情報化」は IoT³⁾ のことを想起させる。

一方の日本では、ドラマ「下町ロケット」が放送されたり、無人トラクターのテレビコマーシャルが流されたりしており、さらには、スマート農業、スマートアグリ、アグリテック、AI 農業、IT 農業、精密農業などの聞き慣れない「新しい農業」が登場している。本稿は、

渡邊（2018）に倣って、これらの用語すべてを総称して「スマート農業」と呼んでおく。

さて、「スマート農業」とは何か。現時点では確立された定義があるわけではない。九州大学の南石晃明教授は、農業経営の視点から「情報通信技術（ICT）を駆使して、状況に応じて最適な農業経営管理・生産管理を行う農業経営」（南石・長命・松江 2016：18）と定義している。これは、IT 分野において、「スマート化」が「情報通信技術（ICT）を駆使し、状況に応じて運用を最適化するインテリジェントなシステムを構築すること」と定義されていることからヒントを得て定義したものである（南石・長命・松江 2016：18）。一方、『平成 29 年度 食料・農業・農村白書』（170 頁）では、「AI、IoT、ロボット技術等の先端技術を活用し、超省力・高品質生産を可能にする新たな農業⁴⁾」と定義している。2019 年に公表された『平成 30 年度 食料・農業・農村白書』（26 頁）においては「スマート農業は、ロボット、AI、IoT、ドローン等の先端技術と、我が国で培われてきた農業技術を組み合わせた新たな農業⁵⁾」であると、1 年前の定義をバージョンアップさせている。白書における定義が今後さらにバージョンアップされないとは限らないが、「情報通信技術（ICT）」にしても「AI、IoT、ロボット技術等の先端技術」にしても、言い方は異なるものの、いずれも、近年の先端技術を意味している。非農業分野で発展した先端技術が農業に導入されたことになると、こうした新しい技術が「いま日本農業が直面している多くの課題を本当に解決できるかどうかはわからないのに、非常に浮ついた期待ばかりが先行している」（池上甲一 2019：74）との指摘がすでになされており、実際、こうした「新しい農業」は、「農業関係者よりも、情報通信技術戦略本部 IT 戦略会議や未来投資会議といった政財界のリードによ」って推進されている（池上甲一 2019：73）。

それでは、こうした新しい技術が農業に導入されたことによって、農業の本質は変わったのか（ないし変わるのか）。答えは「ノー」である。農業の本質とは、無償で降り注がれる太陽光エネルギーと空中の二酸化炭素、水から有機物を合成する植物の光合成を利用し、土地を利用して（耕して）エネルギー（食料）を持続的に生産することであるが、こうした農業の本質は、人類の農耕生活が始まって以来変わることがない⁶⁾。

以上の認識に立ち、本稿では、①スマート農業は、土地利用型耕作農業の長い歴史から考えると、どのような位置づけになるのか、②またどのような問題点が課題とされるのか、中国と日本を事例に考えてみたい。

2 定住生活・農耕生活をもたらした 2 つの難題

ルース・ドフリース（2016）は、人類の農耕生活・定住生活により 2 つの難題をもたらされたという。2 つの難題とは、「土壌の養分補充」と「労働力の補充」である。厳密に考えると、土壌の養分と労働力とはお互いに影響し合う関係にある⁷⁾が、本稿では、この 2 つ

の難題を個別に取り上げ、人類は如何にこれらを克服してきたのかを述べる。その場合、土壌の養分、労働力の補充のあり方についての東アジア（日本と中国）とヨーロッパの比較・関係性にも注視したい。

2.1 土壌の養分補充

人類の定住生活・農耕生活により、作物の度重なる収穫とともに土壌の養分は徐々に失われていく。土壌の養分とは、窒素やリンをはじめとする 10 種類以上の、植物の成長に必要な栄養素である。これらの栄養素を土壌に補充しないと、人類に必要な食料を確保することができなくなる。そのため、人類は様々な方法で土壌への補充が必要な養分を調達してきた（ルース・ドフリース 2016）。

古代文明はいずれも河川流域の近くで発展をみたが、それは、単に作物栽培に水が必要である、という理由だけではなく、河川流域では土壌への養分補充も可能だったからである。川が運んでくる沈泥（シルト）には豊富な栄養分が含まれており、その栄養分によって、作物栽培にともなって失われる土壌の栄養分が補充されていた。灌漑設備の未整備による氾濫は、栄養分の土壌への補充を促進した（ルース・ドフリース 2016）。この段階は、人類が自発的な土壌養分補充を行ったというよりも、むしろ「自然の贈り物」が養分を補充してくれていたということになる。

しかし、やがて人類が自発的に土壌の養分補充を行うようになる。例えば、窒素補充を例にみると、中国では 3000 年前からクローバー、大豆、小豆といった豆科植物を畑に鋤きこむようになり、2000 年前には豆科植物を組み込む輪作体系が形成される。豆科植物は、根粒菌の作用によって空中窒素を固定し、土壌に窒素養分を補給する特徴を持っており、養分補給という意味で重要な作物である。さらに、家畜（牛、豚、ヤギなど）の排泄物や都市部住民の排泄物、運河のヘドロも養分として土壌に補給された（ルース・ドフリース 2016）。しかし、中国で養分補給という難題が解決されたのは、比較的近年のことであり、ヨーロッパや日本に比べ、はるかに遅れていた。

ヨーロッパ（イギリス）においては、18 世紀半ばになって、「ノーフォーク農法」と呼ばれる豆科植物（クローバー）と飼料作物（カブ）を組み込む輪作体系（小麦・ライ麦—カブ—大麦・燕麦—クローバーの四年輪作体系）が形成される⁸⁾。カブは冬季飼料の供給増をもたらし、家畜頭数の増加、すなわち家畜の排泄物の増加につながる。また、豆科植物の輪作体系への導入は大きな進歩である。ノーフォーク農法以前のヨーロッパにおいては、二圃制農法、三圃制農法といった農法が続けられており、休閒と動物（家畜）の排泄物による養分補給がメインだった（ルース・ドフリース 2016；三沢 1958）。この場合、家畜の飼料は、放牧地、採草地などの非耕作地から調達されていた。養分は耕作地から離れた場所から調達され、そしてその養分は家畜を媒介して土壌に補給された（加用 1972）。

都市部住民の排泄物はヨーロッパにおいても使用されており、この点においては中国・日本と同様だった。しかし、産業革命以降における都市部の人口増加にともなう排泄物の増加により、水洗トイレ・下水道が整備されるようになり、それ以降、都市部住民の排泄物による養分補充は不可能となった。そこで登場してくるのが、南米西海岸からのグアノと呼ばれる海鳥の糞であった。約50年後にグアノが掘り尽くされると、内陸の砂漠で発見された硝石がヨーロッパに運ばれるようになる。19世紀は南米からの養分がヨーロッパの土壤に補給された時代であった。グアノと硝石が取り尽くされるようになった20世紀初頭になると、ハーバー・ボッシュ法による無機養分（窒素肥料）の製造（空中窒素の固定）が可能になった（ルース・ドフリース 2016；三沢 1958；加用 1972）。

日本の場合は、中国華北の農法を起源としているが、中国に比べると、養分補給という難題を早く解決することができた。江戸時代までは、草肥と人間の排泄物が土壤の養分補給源の中心であった。草肥には、林野、畦畔、傾斜地、河川敷などの土地で採れる草だけでなく、動物の飼料として使用できない落葉、若木も含まれる。このほかに、干鰯、メ粕、油粕なども利用され、明治中期まではこれらが養分補給源のメインだった。それ以降になると、稲一麦といった二毛作が普及するようになり、これまで以上の水準の養分補給が必要になった。そこで登場してきたのが北海道からの鰯粕や中国東北からの大豆粕だった。明治末期には化学肥料（無機肥料）が登場する。化学肥料の種類は、初期の過磷酸石灰から、硫酸へと変化しており、1928年には、硫酸は日本で使用する窒素肥料の第1位になった（加用 1972）。国内における硫酸の製造開始は、日本に十分な窒素養分を供給できる環境を提供したが、この硫酸製造技術は、初期の石灰窒素変成法も、後に主流になるハーバー・ボッシュ法もヨーロッパから導入したものであった（近藤 1950）。東アジアにおいて「土壤の養分補給」を解決するきっかけは、ヨーロッパからの技術導入であったといえる。

日本の稲作農業の場合、明治以降徐々に耐肥性の強い品種が普及されるようになるが、耐肥性品種は、従来の窒素養分に対する受容力の低い在来品種に比べ、より多くの窒素養分を必要とした（李海訓 2015）。つまり、それまでは、土壤の養分を使用したために補充しなければならぬという意味での消極的な養分補給であったが、耐肥性品種の育種・普及により、より積極的な養分補給に変わったのである。

以上の中国、日本、ヨーロッパの経験をまとめると、人類の土壤養分の調達方法は、「自然の贈り物」の段階と、人類の自発的な養分調達段階に分けることができ、自発的な養分調達段階は、さらに消極的な養分補給段階と、積極的な養分補給段階に分けることができる。こういった土壤養分の調達のあり方の変化により、養分の源は、自然が運んでくるシルトから豆科作物・家畜の排泄物・草・都市部の排泄物のような相対的に近い範囲で調達できるものになり、19世紀になると、グアノや硝石、大豆粕のように海を渡って調達されるようになり、20世紀になると人類が養分を「化学肥料」という形で作り出すようになる。化学

肥料の登場，とりわけハーバー・ボッシュ法により空中窒素の固定が可能になると，養分の供給源が人間や動物の排泄物，資源に縛られることはなくなり（ルース・ドフリース 2016：141），養分補充の解決策は基本的に完了したとみてよい⁹⁾。こうした養分補充の事情と違って，労働力の補充は完全に解決されたわけではない。

2.2 労働力の補充

次に，労働力はどのように補充されてきたのかを検討してみよう。ここでは，労働力といった場合，単なる人間の力（人力）だけでなく，農作業に必要な手，足，目，頭脳の役割も含まれることに注意されたい。

さて，ルース・ドフリース（2016）によれば，農耕・定住社会の場合，開墾をはじめ一連の農作業が必要になるため，狩猟採集時代に比べるとより多くの労働力が必要となる。さらに，定住以降，農耕以外の職種に携わる町に住む人々が出現し，農業に従事する人は自分の消費分以上の食料を生産するようになったため，これらにともなって生じる労働力の不足は動物により補充されるようになり，6000-7000年前の古代文明において動物が犁を牽いていたことが確認されている¹⁰⁾。このように人力は畜力に代わり，やがて動力（石炭・石油といった燃料）によって取って代わり，今日に至る（ルース・ドフリース：2016）。人力から畜力への代替の場合，多くは犁などの農具や生産物の運搬に必要な牽引力が畜力に代替された。その後の畜力から動力への移行にはかなりの歳月が必要だった。

東アジア（中国，日本）農業の歴史からも，人力から畜力，動力（燃料）に取って代わる経験を確認することができる。ただし，東アジアの中で動力化が最も早く達成された日本においても，以下にみるように，全面的に動力化が進んだのは戦後のことであり，ヨーロッパにおいても，例えば西ドイツの場合，少なくとも 1951 年までは畜力牽引が支配的であった¹¹⁾（熊代 1969）。人類の 1 万年の農耕・定住生活の歴史から考えると，農業動力化は最近の現象であることがわかる。以下では人力→畜力→動力への変遷過程を述べる。

動力化が先行したのはヨーロッパであるが，それは，東アジアとヨーロッパでは人口（労働力）対土地比率や農法，使用していた犁の種類などの面で差異が存在したためである。

東アジア農業の動力化が遅れている理由として，まず東アジア農業の特徴，つまり畜力犁耕体系未展開の農法（手耨耕農法）に求められる。この農法の起源は中国・華北の乾地農法であるとされる（熊代 1969；加用 1972）。華北においては，降水量が少ないため，土壌水分の保持のため周到綿密な土壌処理（耕起，整地，中耕）が必要とされる。こうした農法上における土壌の保水力の強化・地面蒸発の防止は，華北のみならず，乾燥地帯一般において要求されるが，華北における水分蒸発防止関連農作業の特徴は，長床犁¹²⁾が使用され，耕耘過程においては畜力による農作業が展開されたものの，中耕は畜力体系として展開されておらず，手作業により行われてきたところにある（手耨耕農法）。長床犁が深耕に適していな

かったため、人力による労働集約的な中耕作業が長床犁の欠点を補完・代替する役割を果たした。こうした華北乾地農法に出発点をもつ手耨耕農法は、2000年前には江南、朝鮮、日本といった東アジア地域に普及したとされる（熊代1969；熊代1977）。

それ以降約2000年間、東アジアの手耨耕農法には基本的に変化がなかった。東アジアにおける人口対土地比率の大きさがこの労働集約的な農法を存続させた重要な要因だったと理解される。日本の場合、南関東の畑作においても、少なくとも1950年代後半までは手作業による中耕作業の風景が残っていた（田島2006）。一方の稲作も畑作と同様な手耨耕農法であった。灌漑水により中耕・除草作業は省略されるものの、田植、刈取など主要な労働過程においては手作業に依存する労働集約的な性格が確認され、こうした稲作の労働集約的な性格や犁耕体系の未展開は、畑作農業に共通するものであった（熊代1969）。日本の稲作の場合、手作業による労働集約的な性格が解消され始めるのは、田植・収穫の作業が動力化する1960年代後半以降のことであり、それまでは鋤、鎌、犁による農業が続けられてきた。

東アジアにおいて手耨耕農法が続いた間、ヨーロッパでは東アジアに先立って動力化・機械化が進む。そのきっかけとなったのは、いわゆる「農業革命」である。農業革命は、囲い込みとノーフォーク農法に代表されるが、「単なる農業上の技術革新にとどまらない社会的・経済的意義をもつてい」た（田中1995：150）。つまり、イギリスの場合、囲い込みは大土地所有による大規模農業経営を成立させ、そこでは企業的農業経営が進むことになるが、企業的農業経営の下では、畜力から動力（機械）への移行は抵抗なく進んだ（田中1995：150-151）。これはノーフォーク農法の展開を後押しする社会的・経済的条件が成立したことを意味しており、小農社会が形成された東アジア¹³⁾との違いである。

ノーフォーク農法は、既述のようなカブと豆科作物の導入や家畜の舎飼い、四圃輪栽式などが特徴としてあげられるが（田中1995：150）、他方で、この農業革命において「最も重要な要素」は反転犁だという説も存在する（フランチェスカ・ブレイ2007：655）。フランチェスカ・ブレイ（2007）は、曲面鉄製発土板の付いた犁（反転犁）、馬牽引鋤、播種ドリル、この3点を、18世紀のヨーロッパにおける農業発展のカギだと位置づけている（フランチェスカ・ブレイ2007：638）。イングランドにおいては、タル¹⁴⁾農法以降に条播、中耕が登場するが、それは播種ドリルによって可能になったものである。三圃制農法の時代には、播種法が散播法で、条播ではなかったため中耕は困難で、播種から収穫までの期間中は何の農作業も行われていなかった。中耕が簡単に行われるようになったのは、タルが牧草栽培において播種ドリルを投入したことを発端とする（飯沼1967；フランチェスカ・ブレイ2007）。

反転犁がとりわけ重要であるとされる理由は、耕耘に使用されたためであろう。散播より条播への移行にともなう農作業に必要な労働・時間の増加を克服するためには、播種器のみならず、播種期が遅れないように効率良く耕耘作業を行う必要があり、そこでは反転犁の役割が大きかった。それまでの北部ヨーロッパで使用されていたゲルマン犁は、車輪があり、

犁体が重い、犁床は幅広い、木製の犁へら（発土板）の軸と犁先がずれていること、などが特徴として挙げられる。とりわけ、犁へらは平面（平面発土板）であったため、摩擦が大きく、土を効率的に反転させることができなかつた。これに対し、中国の犁は、車輪はなく、犁体も軽い、犁床は細く、鑄鉄製犁へらは曲面で犁先ともびったり合っていた。曲面発土板をもつ犁は、土を効率的に反転することができる（フランチェスカ・ブレイ 2007）。このような中国発の曲面発土板がヨーロッパに登場するのは、中国発の犁が 17 世紀までにすでに東アジア・東南アジアに普及し、そこからヨーロッパに渡るようになってからである。つまり、中国犁の持っていた土を効率的に反転させる性能が、イギリスの農業革命に大きな役割を果たした、というのである（フランチェスカ・ブレイ 2007）。

また、犁の牽引に使われる家畜が牛だと深耕ができないため、馬による牽引に代替された（飯沼 1967）。馬は牛より作業効率が良いだけでなく必要な飼料も少なかった。ただ、馬の牽引力を発揮させるためには、頸環が必要である。頸環を使うことにより、馬の肩全体に重量が分散され、馬の牽引力を十分に利用できるようになる。このような役割をもっている頸環は 5 世紀の中国で登場したが、1000 年頃までにはヨーロッパに伝播・普及されていた（ルース・ドフリース：2016）。

東アジアでは、長床犁が使用されていたため、畜力犁耕体系が未展開のままであったが、イギリスでは、中国の犁の持っていた土を効率的に反転させる性能や頸環を取り入れる形で農業革命が可能になる条件が整ったのである。農業革命の段階で主に耕耘・播種・中耕面において、人力が畜力によって代替され、耕耘、播種、中耕といった人の手・足による農作業は農具によって代替された。牽引は牛から馬になったが、畜力であることには変わりがなかった。

こうした事情が変わるのは、内燃機関トラクターが農業に投入されてからである。蒸気機関トラクターから刺激を得た技師たちが内燃機関トラクターを開発することになるが（藤原 2017）、蒸気機関はトマス・ニューコメン（1663-1729 年）が 1712 年に鉱山用用水ポンプを改良したことによって実用化が始まった（杉山 2014；藤原 2017）。19 世紀半ば頃になると蒸気機関トラクターが歴史の舞台に登場するが、順調には展開できなかった。1893 年に内燃機関が発明されたことにより、今日につながる内燃機関トラクターが発明された（藤原 2017）。1900 年に内燃機関トラクターが登場し、畜力から動力（燃料）への移行が始まった。ヨーロッパでは農業革命以降、企業的農業経営が進み、労働費用の削減が農業経営の課題だったからである（田中 1995）。ただし、すでに述べたような西ドイツの事例からもわかるように、戦後初期までは畜力牽引が支配的だった（熊代 1969）。

日本でも戦後になって農業機械化（動力化）が本格的に進む状況であり、日本で初めてトラクターが登場したのは 1909 年で、この年、岩手県で蒸気トラクターが輸入されている。後に国産トラクターが生まれるとはいえ（藤原 2017）、まず西洋で生まれたトラクターが東

アジアに導入された。「トラクタは、もともと作業機のけん引だけを目的とする特殊自動車であった。その後、単純なけん引だけにとどまらず、機械の一部に作業機を直結したり、さらに直結した作業機にトラクタ機関の動力を伝えたりして、作業部を駆動する方式がとられるようになり、現在では多種多様なトラクタが生まれるにいたった」(田原・川廷 1972: 91)

トラクターが日本農業に導入された後も、農業全般の動力化・機械化には何十年もの時間がかかった。明治以降、日本農業の機械化が進んだといわれているが、それは脱穀機や籾摺機であり(田中 1995; 暉峻 1996)、これらは収穫後における作業の機械化であって、農業生産過程にかかわる作業の機械化ではない。農業生産にかかわる耕耘機の場合、内燃機関が使用されるのは戦後のことであり、戦時期に耕耘過程の動力化が試みられたが、動力を電力に求めたため成功しなかった(田中 1995)。さらに、トラクターの登場により牽引部分の動力化は可能になったとはいえ、田植作業などの手作業が機械作業によって代替されるのは簡単なことではなかった。稲作における田植作業は畑作における播種作業に比べ、人間の手・足の役割がはるかに複雑である。人間の手・足の役割が機械作業によって代替されない限り、農業生産過程にかかわる作業の動力化は不可能であった。

ただし、明治以降の日本農業では、生産過程にかかわる部分において様々な変化があったことも指摘しなければならない。明治以降、深耕に適さない長床犁は短床犁に代替されるようになる(加用 1972)し、明治農法といわれるものも登場する。明治農法とは、稲作における畜力耕、乾田化、金肥施用などの諸変革を指すが(暉峻 1996: 61)、乾田化を可能にしたのは短床犁の普及だった。それまでの稲作においては、常時湿田が一般的であったが、その理由は、長床犁では深耕ができないため耕起は浅くしかできず、そのため鍬による人力耕起が行われたが、冬にも湿田にしておいたほうが耕起作業は楽であった。短床犁の普及により乾田化が可能になり、畜力耕による耕起の加速化も進んだが、ヨーロッパと違って、手作業による中耕・除草作業は代替されなかった。この結果として、効率的な中耕・除草作業のために正条植や太一車(回転式除草機)などが新たに登場した(暉峻 1996)。太一車は水田農業における除草のための腰曲げ作業を緩和すべく生み出されたものであるが、立ったままの除草作業が可能になるには稲株を正確にそろえる必要があり、そのためには乱雑植を修正する必要があった。そこで登場するのが正条植であるが、正条植は乱雑植に比べ、より多くの労働力を必要とするため、普及は進まず、ようやく日露戦争以降普及することになる(清水 1954: 297-299)。

正条植は、苗を均等な幅・間隔で植え付けるところに今日の機械田植と共通点を持つ。稲作における中耕除草作業の圃場環境は変わらなかったことを意味する。戦後になって農業(除草剤)の登場により中耕除草機による除草作業が代替され、代わりに農業を散布する作業が新たに生じたが、動力防除(散粉機)が新たな農作業にかかわる手・足の役割を代替し

た。

中耕・除草作業以外にも、それまで、代替が難しいといわれてきた田植や収穫の作業が、1960年代以降田植機・コンバインによって代替されるようになった。田植機が実用化されたことにより、苗取、田植といった腰曲げ作業が省略されたが、実用可能な田植機が誕生したのは戦後のことである。

腰曲げ作業からの解放を求め、日本では古くから田植機の発明が試みられており、国内で初めての田植機特許の出願があったのは1896年のことである（和田1988）。しかし、苗代での育苗では順調にいかず、ようやく戦後になって田植機が実用化されることになるが、それは、長野県農事試験場飯山雪害試験地において養蚕技術からヒントを得た松田順次が箱育苗を生み出したからである。箱育苗の発明により「はじめて苗の均一性が確保され、自動的に植付部に苗を供給することができ」るようになる（和田1988：204）。その後、帯苗・紐苗方式とマット苗方式の中で、マット苗方式が主流になっていく。「マット苗では根がからんでいて、その比較的均一な形を保っている床土部にフォーク状の爪をさしこんで一定量をかきとり、これをさらに押しだして植えつける」田植方式が考えだされたことにより、茎に損傷を与えることがなくなり、植付け後の活着・分蘖も順調だった（和田1988：205）。

人間の手の役割を代替する植付部分には、こうした植付機能以外に耐久性・防水性が必要とされるが、これらのための特殊な合金、石油製品などは昭和40年代になって供給可能になる。このようなハイレベルの部品は、工業部門における技術の成長が前提とされるが、昭和30年代までの日本ではハイレベルの部品を提供することができなかった（和田1988：205-208）。1960年代以降コンバインも実用化され、これにより4つの腰曲げ作業（苗取、田植、除草、収穫）が動力（機械）によって代替された。そして、1980年代になると、機械化一貫体系（乗用トラクター・田植機・コンバイン）がほぼ完成される（速水・神門2002）。農業の動力化が完了したと判断してよからう。

こうして、日本では、戦後になってようやく動力による人力・畜力の代替が達成されたが、日本の農業機械化は、ヨーロッパの農業革命と同様に、農業の本質にかかわる部分を変えたわけではなく、人間の役割のみを代替したことになる。しかしそこでは人間の力部分（牽引）だけではなく、手・足の役割も代替された。日本の農業機械化は、4つの腰曲げ作業の代替と農繁期における労働需要のピーク（ないし労働力供給の不足）を解消する方向で進んだといえる。離農や兼業農家の増加により、限られた休日中に田植、収穫といった作業を完成させる必要があり、こうした事情が機械化一貫体系の完成を後押ししたと思われる。

日本の農業機械化の水準に対し、中国農業全体における機械化はまだ遅れている。機械化率をみると、耕耘は77.5%（2014年）、播種・田植は52.1%（2015年）、収穫は53.4%（2015年）である¹⁵⁾（池上2017a）。ただし、3大穀物（稲、小麦、トウモロコシ）の機械化率は高い水準に達している。耕耘、播種・田植、収穫にかかわる総合機械化率をみると、2017年

スマート農業の歴史的・技術論的位置づけ

時点で小麦は95%、トウモロコシは84%、水稲は80%¹⁶⁾に達している（『中国農業農村発展報告2018』）。中国における水稲の機械化には日本で開発された諸技術が活用されており¹⁷⁾、近年も日本の農業機械メーカーの製造した田植機、コンバインは中国の農村で評判が高い。中国の農業機械化は日本に比べ遅れているが、日本との共通点として挙げられるのは、農繁期における労働力のピーク（労働力供給の不足）を解消する方向で機械化が進んだ点である。つまり、戦後東アジアにおける農業機械化は、主要には、人力と、人間の手と足の役割を代替する方向で進んできており、その過程において田植、収穫、中耕除草といった土地への働きかけや農作物の栽培にかかわる部分（田植や収穫の手順や方法）のあり方は変えたが、農業の本質を変えたわけではない。ここ数年話題になっているスマート農業といわれる新しい農業も、当然農業の本質を変えるものではないが、現時点でみる限り土地への働きかけや農作物の栽培にかかわる部分のあり方に変化をもたらすものでもない。

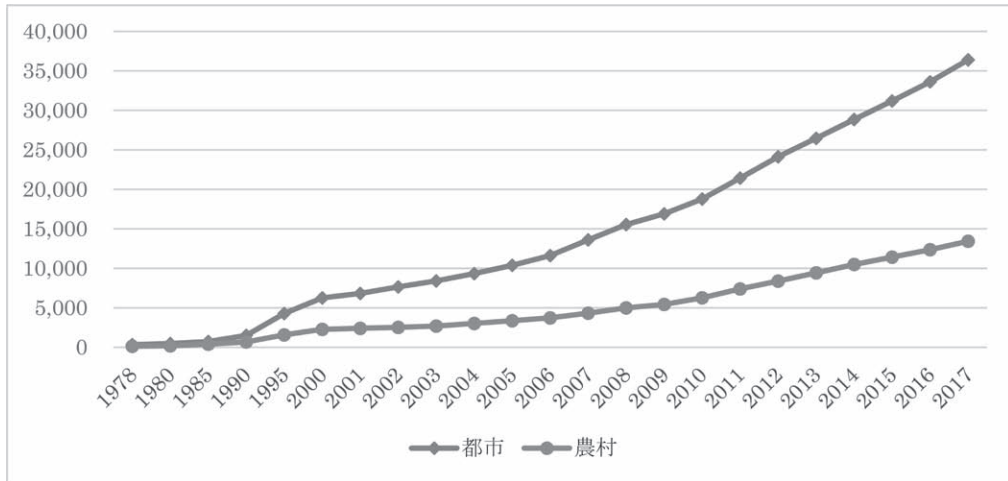
スマート農業は、人の手以外にも目や頭脳の役割をも代替するといわれている（三輪2017）。自動運転農業機械や農業ロボット、自動給水のような栽培設備は手の役割を代替し、カメラの付いたドローンやセンサーは目の役割、AIやビッグデータ解析、自動制御技術などは人間の頭脳の役割を代替するものである（三輪2017）。こうした新技術を導入すると、労働力である人間は移動する必要がないので、足の役割も代替されてしまうと理解される。中国では長い間人力による農薬の散布が行われてきたが、近年はドローンによる農薬散布が広がっている。この代替は、人間の目や手だけでなく足の役割も代替したことになる。また、自動運転農業機械や農業ロボットなどからわかるように、手による作業の代替は、単純な農作業のレベルを超え、農業機械の運転のようなより高度な作業の代替へと移行したことがわかる。

労働力＝人間だと定義すれば、戦後の東アジア農業においては、まずは、人力が代替され、そして農繁期の手・足の役割が代替され、さらにはより高度な手・足と目・頭脳の役割が代替されようとする、といえる。

それでは、なぜ人間のより高度な手・足の役割と目・頭脳の役割を代替する技術が導入されようとするのか。蒸気機関や内燃機関と同様に農業外部におけるGPS、GIS、センサー、自動抑制技術などの進歩が農業に新しい可能性をもたらしたことは否定しないが、より重要な答えは、日本においても、中国においても農業の担い手が不足しているためであると指摘したい。労働力の1部分の役割ではなく、人間の農業におけるすべての役割を代替する必要があり、そこでスマート農業が注目されているのである¹⁸⁾。

図1は、1978年以降の中国における1人当たり名目可処分所得の推移を、都市と農村別に示したものである。農村部における可処分所得も年々増加しているものの、都市部との格差は絶対額で年々広がっている。こうした中国の経済発展とともに農工間所得格差（農業の比較劣位化）によって、青壮年労働力の非農業部門への移動が進んでいる。そのため、

図 1 中国における 1 人当たり名目可処分所得の推移 (元 / 年)



出所：『中国統計年鑑』2018年版により作成。

2010年代以降の中国においては、「誰が農業をするか」が課題になっている。

経済発展（工業化）に伴う農工間格差問題（農業の比較劣位化）は、今日の中国だけでなく、日本・韓国・台湾いずれの国・地域においても経験したことであるが、いずれの国・地域も農業保護政策が実施され、民間レベルでは、兼業農業（日本（北海道除く）・台湾）が進むか、挙家離村（北海道・韓国）が引き起こされた（田島・池上2017）。こうした中で、日本では機械化一貫体系の下で昭和一桁世代が戦後日本の農業を支えた（速水・神門2002；生源寺2011）。しかし昭和一桁世代の高齢化にともなうリタイヤと中小規模農家の経営継承の激減（西川2015）によって、日本でも担い手の不足問題が大きな課題として浮上してきた。

こうした担い手不足の課題とともに登場したのが、無人トラクター、無人田植機、無人コンバイン、ドローン¹⁹⁾などの新しい農業機械である。日本の主要な農業機械メーカーのHPを確認すると、以下のことが確認できる。すなわち、日本では、無人トラクターがクボタ（2017年）、井関農機（2018年）、ヤンマー（2018年）によってすでに販売されており、無人コンバインもクボタ（2018年）がすでに販売を開始している。無人田植機についてもヤンマーが2019年2月に販売を開始している。クボタも2020年に発売予定だという。ドローンも2018年からは各地で使用されるようになってきている。ただし、近年クボタやヤンマーといった日本の農業機械メーカーが日本国内で販売している農業用ドローンは、自社製ではなく中国の企業DJI（大疆創新）の製品である。

中国は日本より機械化が遅れたが、近年の新しい農業の展開については、日本より進んでいるように思われる。農薬や液体肥料の散布といった作業にドローンが投入され、病虫害や

スマート農業の歴史的・技術論的位置づけ

生育状況の観察には高性能の監視カメラが投入されており、しかも近年急速に普及している。これは、近年中国で急速な成長を遂げているハイテク産業と無関係ではない。

とりわけドローンはパーツがスマートフォンと類似していることから「空飛ぶスマホ」と呼ばれており、スマートフォンの生産大国である「中国がドローンの産地となることはある意味で自然なこと」である（伊藤 2017）。

上記の中国の新興企業 DJI は、2016 年時点で世界民用ドローン市場の 7 割シェアを占めている（伊藤 2017）。2006 年に深圳で創業するが、はやくも 2013 年 8 月には DJI JAPAN 株式会社（東京都港区）を設立している²⁰⁾。この DJI が日本農業にドローンを供給しているのである。

3 「新しい農業」の課題

さて、現時点の土地利用型耕作農業におけるスマート農業は、無人農業機械とドローンを中心に進んでいることは確かであるが、これら新しい農業機械はどのように位置づけられるのか。筆者は、「農業経営効率の向上」と「農業労働環境の改善」であると位置づけたほうが妥当であると考え。冷房室付きのコンバインが普及していることからわかるように、日本の農業機械は農業労働環境改善の面で進化しているが、無人農業機械も、風の日にも雨の日にも、人間が過酷な農業労働環境に立ち会うことなく農作業ができるという究極の農業労働環境改善の試みである。

農業経営効率の向上の面でいうと、例えば、日本においてドローンは無人ヘリより安く、中国においてはドローンによる作業委託料が労賃に比べ大差ないが、作業時間を大幅に節約できるので、農業経営効率の引上げにつながる。ただし、とりわけ日本においてドローン以外の無人農業機械は既存の農業機械に比べ、販売価格が高いことから「機械化貧乏」の問題が起こらないかとの懸念もある。例えば、無人コンバインの場合、株式会社クボタが開発し、2018 年 12 月から発売されたアグリロボコンバインの販売価格は 1700 万円²¹⁾である。アグリロボコンバインは、「担い手農家は作業効率の向上や省力化など様々な課題を解決するため、精密農業への取り組みが急務とな」²²⁾ するという問題意識の下で開発が進められたが、販売価格の面で課題は残されている。これに比べると、ドローンは比較的安価であるから、農業経営を圧迫しないという意味において新しい農業機械の中では最も有利性があるといえる。

将来、理想のスマート農業が完全に実現されるとしても、農業経営に人間がまったくかわらなくなるわけではないから、日本においても、中国においても担い手の確保が重要な問題として残り続ける。

それでは、担い手確保の絶対条件は何だろうか。それは農業から非農業に劣らない所得が

得られることである。スマート農業により費用を抑え、収穫量を増やし、かつよりうまい米の生産が可能だといわれるが(窪田 2017)、現時点におけるスマート農業は、人間の手、足、頭脳(熟練)の役割が機械によって代替される側面が強く、これによって生産量が劇的に増えることはない。そのため、所得水準を上げる方法としては、①経営面積を拡大するか、②生産される農産物の付加価値を高めるか、③作業委託料などの自家農家経営以外での収入を増やすか、などが挙げられる。

このうち、農産物の付加価値を高めることは、生源寺(2011)のいう「経営の厚みを増す」ことであり、具体的には、減肥料・減農薬の生産物を生産することにより生産物そのものの付加価値を高めること、施設園芸や果樹、畜産などの集約型農業を土地利用型農業と組み合わせ合わせた複合経営、そして食品加工、流通、外食業といった農業の川下分野への多角化、などが挙げられる(生源寺 2011)。

経営面積の拡大については、作付面積の拡大を通しての生産量の増加だけでなく、規模の経済のメリットを生かしたコストダウン効果が望まれるが、日本の稲作農業の場合10ヘクタールレベルの規模になるとコストダウン効果が消失するといわれている(生源寺 2011)。ただし、経営規模の拡大は農地所有権(中国では農地経営権)の移動をとまなわない作業受託によっても実現可能である(池上 2017b)。この点、以下の自家農家経営以外での収入を増やす方法とも関連する。

如何に自家農家経営以外での収入を増やすかという点であるが、スマート農業といっても結局は高額な農業機械・設備の購入をとまなうものなので、如何に農業機械・設備の稼働率を引き上げ、そこから収入を増やせるかが課題となる。

例えば、ドローンは、機種や性能によって販売価格が異なるものの、2018年時点で日本においても、中国においても約200万円で販売されている。これには、ドローン本体以外のバッテリーや充電器なども含まれる²³⁾。日本で無人ヘリが約1200万で販売されていることを考えると、ドローンはかなり安価であると評価できる。しかし、無人ヘリに比べ小回りが利くだけでなく、性能が高く、1ヘクタールの農地に農薬を散布するのに15分程度しかかからない。100ヘクタールの大規模経営でも作業に必要とされる時間は、単純計算で25時間、すなわち2-3日で作業を終わらせることができる。スピードの面だけでなく、果樹園や傾斜地においても利用可能であるところも強みである。こうした性能の高いドローンの稼働率を如何にして引き上げるかは、担い手の収入に直接影響を与えることでもある。筆者の限られた知見によれば、日本におけるドローンの稼働率は中国のそれに比べ、明らかに低い。

これまでの日本における多くの農業機械・設備の利用率は極めて低い。例えば、ビニールハウス、田植機、コンバインなどの農業機械・設備はいずれも1年365日中、使用される日数は限られている。「米生産費統計」(2013年産)を基に試算した資料によると、1台当たり平均利用面積はトラクターが1.8ヘクタール/台、田植機2.8ヘクタール/台、コンバイン

3.4ヘクタール/台である。この段階で1農業経営体当たり農業機械保有事情は、トラクター1.17台、田植機0.77台、コンバイン0.63台である²⁴⁾(農林水産省2016a)。兼業農家が限られた休日中に田植・収穫を終わらせるためには、戸別に田植機・コンバインを保有する必要があるという事情が強く影響していると思われる。しかし、その他の原因もある。日本の農業機械への「過剰投資」を指摘した芦田(2016)は、農村社会において農業機械はステータスシンボルであり、絶えずグレードアップする新型機械を保有することはメンツにかかわる問題であるという(芦田2016)。

中国の稲作に関する同類のデータは示しにくいだが、田植機1台当たりの平均利用面積は示すことができる。『中国農業統計資料2017』によれば、2017年における機械播種・田植面積は1455.81万ヘクタールであり、水稲直播機の台数は2.42万台、田植機の台数は82.23万台で、播種・田植に使用される機械は合計84.65台であった。これらの数字から単純計算すると直播機・田植機1台当たりの平均利用面積は17.2ヘクタール/台であり、日本の6倍以上である²⁵⁾。

日本の農業機械の低い利用率を引き上げるための1つの方法が集落営農である。「集落営農とは、複数の個人が集まって、機械の共同利用、作業の共同化により農業経営の効率化を図る取組」である(農林水産省経営局経営政策課2019)。しかし、集落営農における機械の利用率も高いとはいえない。

筆者が2018年10月に訪れた島根県のある集落営農(以下A集落)の事例を紹介しよう。集落営農は日本農業の担い手の1つの類型であるが、2019年2月時点で法人と任意組織を合わせて、日本には合計1万4949の集落営農が存在する。島根県では536(全国12位)の集落営農が組織されている(農林水産省経営局経営政策課2019)。A集落は、18戸で13ヘクタールの水田の集落営農を行っているが、共同利用の5条植田植機1台と4条コンバイン1台を保有している。このうち田植機は年間10日程度稼働しており、コンバインは年間20日程度稼働しているという。日本農業機械化協会「農業機械・施設便覧(2014/2015)」から推計すると4~5条植田植機は145.3万円/台、4条コンバインは608.8万円/台である(農林水産省生産局農産部技術普及課生産資材対策室2015)。とりわけ600万円のコンバインを年間20日程度しか利用していないことは、やはり利用率が低いと言わざるを得ない。

A集落は2018年から肥料・農薬散布にドローンを利用するようになった²⁶⁾。A集落はドローンによる農薬散布の作業を近隣集落の方に委託した。委託料はヘクタール当たり3万~3万5000円(内5000円程度は農薬代金)だった。ドローンの年間稼働日数は20~30日に止まっており、稼働率を引き上げるために積極的な活動を展開しているわけではなく、近隣からの作業委託がある場合に出向いているという。田植機やコンバインに比べ、稼働率が高いとはいえ、以下にみる中国の事例に比べるとドローンの稼働率はまだ高める余地がある。

中国農業においては、コンバインだけでなくビニールハウスの利用率も高い。周知のように、日本の農家においては、ビニールハウスは育苗が終わると生産的に使用しない場合が多い²⁷⁾。これに対し、中国農業においては、ビニールハウスの利用率が高いと思われる。筆者が2019年7月に訪問した吉林省のある稲作農家は、育苗が終わったビニールハウスを利用してスイカ、キュウリの栽培をしていたし、稲作農家ではないが、2018年9月に訪問した河南省の葉タバコ合作社は、タバコ苗の育苗が終わった後のビニールハウスでトウモロコシを栽培しており、2018年8月に訪問した雲南省の葉タバコ合作社では、育苗の終わったビニールハウスでキクラゲ、花卉を栽培していた。ビニールハウスとそこに使用されている土地の利用率を高め、農業収入を増やしているのであった。

コンバインについてみると、中国では個々の農家が購入する場合も多いが、全国的に広く展開されているのは、コンバイン賃刈屋形態である。中国の一般の農家はコンバインや田植機といった大型農業機械をあまり保有しておらず（池上2017a）、そのため、賃刈屋への作業委託が多い。「作業委託は（機械を保有しない）農家が自分で行うのが困難ないし非効率な耕耘、収穫などの特定の作業に限って行うのが一般的であり、施肥や農薬散布、水管理などは高齢農家であっても自分で行うのが普通であった」（池上2017b）。賃刈屋システムは、日本の農業機械メーカー・クボタが中国で作り上げたもので、クボタの現地法人のある江蘇省で始まるが、今は全国的に普及している。1つの例を挙げると賃刈屋は、河南省で麦刈が終わってから各地の収穫期に時期的なずれがあることを利用し、黒竜江省、吉林省、遼寧省の順に回る。最後の遼寧省で、コンバインを安価で売却し、翌年に、性能のより優れた新しいコンバインを購入するという（李海訓2015）。遼寧省での収穫が終わると南方の稲作二期作地帯に移動する賃刈屋も少なくない。こうした賃刈屋のコンバインは6か月以上稼働している。このような賃刈屋にとっては何年使えるかが問題になるのではなく、年間どれほど稼働できるかが問題になる。

コンバインの賃刈屋が毎年コンバインを買い替える背景には、農業機械のバージョンアップが速いという事情がある。ドローンもバージョンアップが速く、同じドローンを3年以上は使用しないという。

中国におけるドローンの経営方式は多様であるが、大まかにいうと、全国型と地域型がある。全国型はコンバインの賃刈屋と同様に全国各地の様々な作物の防除時期のずれを利用している。例えば、6月から8月中旬・下旬までは東北の水稲やトウモロコシの液体肥料、農薬散布、そして9月には新疆に行って棉花栽培の脱穀剤散布、それが終わると山東省の冬小麦、その後は南方の柑橘類とバナナ、甘蔗などへの農薬散布に使用され、春節前に家に帰る、といったモデルである。ドローンはコンバインより使用範囲が広く、稼働率をコンバイン以上に引き上げることが可能である。

地域型は、基本的に限られた距離内で移動する²⁸⁾が、様々な担い手が存在している。例

例えば、黒竜江省においてドローンを購入²⁹⁾するのは、大規模農業経営体、国有農場、農産物の仲買人、農薬・肥料小売店（およびその関係者）などである。ドローンを操縦するためには10日ほどの訓練を受ける必要があり、5000-6000 元の費用がかかるが、ドローンを買えば無料になる。国有農場では農民を操縦士として育成し、操縦士は出来高制で報酬を得る。大規模農業経営体³⁰⁾、仲買人、農薬・肥料小売店（およびその関係者）もドローン操縦の訓練を受けており、それらの活動は活発である。微信（WeChat）、スクロール広告、チラシなどによる宣伝以外に、まだドローンを使用しない農村に行ってデモを行うことで市場を開拓する。これ以外に各地の農業技術普及センターが宣伝したり、農薬・肥料小売店も販売時にドローンによる肥料・農薬散布を勧める。このうち、特に注目すべきなのは、農業生産にかかわらない仲買人や農薬・肥料小売店の存在である。彼らにとってドローンの稼働率を引き上げることは収入の多少に直結する。そのため市場競争も激しくなり、全体の委託料水準を引き下げる効果がある。こうした中で、農薬・肥料小売店は比較的有利な立場にある。農薬・肥料の販売に必要な利益を獲得しているため、受託料を必要以上には取ろうとしない³¹⁾。農薬販売のアフターサービスとして散布を無料で行う農薬・肥料小売店も存在する。

農家側もドローンによる農薬散布を外部委託しようとする。上記のように近年の中国農業においては、青壮年労働力が非農業部門に移動していることが課題になっており、農業部門には高齢者が残っている。それに真夏の暑い日に農薬散布を自分で行うということは高齢者にとって楽なことではない。30代前半以下の若者は農村に残っているとしても、真夏の暑い日に農作業に従事しようとは思わない。ドローンの操縦作業も真夏の暑い日に屋外で行うため、ドローン操縦士の多くは苦勞に耐えうる30代後半から40代までの年齢層が多いという。

そして、なんといっても委託料が安価である。2018年と2019年における中国東北のドローンによる農薬散布の受託料の相場は、ムー当たり5-10元（75-150元/ヘクタール、150元は約2500円）であり、土地条件や農薬をどこで購入したかにより、60元/ヘクタールの場合も少なくない。これは日本円で換算するとヘクタール当たり1000円以下になり、上記島根県に比べはるかに安い。以下に取り上げる黒竜江省のB県における農薬散布作業の委託料は、日雇いの場合、背中に背負うタイプの噴霧器を使用するが、1缶を噴霧するのに15円で、1ヘクタール当たり4-5缶が必要になるから、ヘクタール当たり60-75元かかることになる。ドローンによる作業委託料は農薬散布のために労働力を雇うケースと比べ大差はないが、時間が節約できるだけでなく、ドローンで散布したほうがより均等に散布できるという。

このように、委託する側と受託する側の需要がマッチしていることから、ドローンによる液体肥料・農薬散布は中国において広範に広がっているが、農薬・肥料小売店（およびその関係者）が参入していることが中国の特徴だと思われる。以下に1つの事例を紹介しておこ

う。

日本では農薬の6割が農協を通して農家に届く（農林水産省 2016b）のに対し、中国の農薬流通には無数の卸売商・小売商が存在する。『2019年版中国農薬流通行業深度調研及發展趨勢分析報告』³²⁾によれば、農薬流通にかかわる企業のうち市場占有率が5%を超える企業はない。データがやや古いですが、2012における農薬経営体の数は34.9万であり、就業人口は60万人だった（農業部農薬検定所 2013）。近年は農家が農薬メーカーから直接購入するような新たな流通経路が増えてはいるが、それでも農家が農薬小売店を利用するような伝統的な購入パターンのほうが多いと思われる。筆者が訪問した黒竜江省B県のC氏兄弟は、兄が農薬小売店を経営し、弟はドローンによる作業受託を行っている。兄の農薬小売店は卸売会社から仕入れる各種農薬（防虫剤、除草剤、殺菌剤など）、補助剤などの単品と複数種類の農薬セットを販売している³³⁾。

弟は兄の農薬小売店から農薬を購入した農家を主な対象に受託作業を行っており、作業現場に行くと、農家が用意した農薬セットの中に兄の店から購入した農薬が1種類も含まれていない場合は、委託を受けないという。ドローンによる農薬散布作業には、計4人必要であるが、そのうち弟本人と彼が400元/日で雇っている操縦士以外の2人は農家側の人である。ドローンは10-15分で1ヘクタールの農地に農薬を散布できるが、これと同時にバッテリーもなくなり、農薬もなくなるから補充しなければならない。ドローンが戻ってくるとバッテリーの交換と農薬の補充（10リットル）を行い、ドローンが作業する10-15分の間、農家側の2人は農薬セットを開封し、水に混ぜる作業などを行い、弟と操縦士は、片方が操縦し、片方はバッテリーの充電などに忙しい。農薬を混ぜる作業を農家側自らが行っているのが一般的であるが、それは農家自らが複数の農薬小売店から複数種類の農薬を買う場合などにおいて、買い間違った場合、農薬を混ぜる際に化学反応が起きるので、ドローン屋はそのリスクを負いたくないからだという。

ドローンは水稲、トウモロコシ、大豆栽培における液体肥料および各種農薬の散布に使用されるため、同じ農地においてもドローンを複数回飛ばす必要があり、遠距離を移動しなくても十分に稼働率を引き上げることが可能である。委託を受ける時にはまとまった面積が前提となり、多くの場合、複数の農家あるいは1つの村全体で統一的に農薬散布を行う。弟のドローンは6月から9月上旬までほぼフル稼働している。場合によっては5月の基肥（液体肥料）の散布も受託する。ドローンは風の強い日と雨の日には作業をしないが、雨の降る1時間前までは作業可能であり、暗い夜にも作業可能である。弟は早朝2-3時から作業を開始し、早朝作業が終わると朝食を取り、その後次の現場に移動し、そこで昼頃まで作業を行い、昼食後に次の現場に移動し、日が暮れるまで作業受託を行う場合も多い。受託料は60-75元/ヘクタールであるが、この弟は作業受託料だけでも13万元の収入（2018年）があったという。2019年は前年に購入したドローンを使用しているが、2018年より稼働率が高く、7

スマート農業の歴史的・技術論的位置づけ

月末にすでに前年の受託料収入水準に達している。ドローン（約10万円）を2年間使用すると、年間5万円の費用がかかる計算になるが、それでも、年間8万円の受託料収入が確保できることになる。2017年における黒竜江省の住民1人当たり可処分所得は2万1206元であり（『中国統計年鑑』2018年版）、3か月ほどのドローン受託料で得た収入が如何に高い水準であるかがわかる。

近年スマート農業を押し進めている日中両国であるが、ドローンによる作業受委託の事情は、大きく異なる。日本ではドローン所有者の活動はそれほど活発ではないのに対し、中国においては受託する側に多様な担い手が参入しており、全国を回るドローン業者以外に農業生産にかかわらない仲買人や農薬小売店なども参入している。そのため市場競争が激しくなり、委託料が必要以上に高くなり、農家側も委託しやすいような水準になっている。上記のように中国東北の農薬散布の委託料相場は高く見積もってもヘクタール当たり150元（2500円）であり、これは黒竜江省のヘクタール当たり米販売額2万3027元（2017年）³⁴⁾の0.65%程度である。対する鳥根県の場合のドローン委託料は2万5000円であり、鳥根県のヘクタール当たり米販売額131万円³⁵⁾の1.91%を占める。無人ヘリに比べ安いとは言え、担い手の収入面で考えると残された課題は多い。

4 むすびに

本稿では、まず、スマート農業を長い農業の歴史の中で歴史的・段階的に位置づけることを試みた。その際、ルース・ドフリース（2016）が提起した2つの難題を指標とした。人類の農業活動における「土壌の養分補給」問題は化学肥料の発明によって解決され、東アジア（日本）もヨーロッパで生まれた化学肥料生産技術を導入することによって、土壌の養分補給問題を解決することができた。

もう1つの難題である「労働力の補給」は、初期段階は、畜力が人力部分を補給する形で行われた。農業革命以前の時期においては、主に犁などの農具や生産物の運搬に必要な牽引に畜力が投入された。イギリスの農業革命の段階で耕耘、播種、中耕作業においても畜力によって人間が代替され、そこでは人力部分だけでなく、農業生産過程にかかわる人の手・足の役割が農具によって代替された。イギリスの農業革命が可能になった背景には、中国製の持っている土を効率的に反転させる性能や頸環がイギリスに伝播されたことがある。1900年に内燃機関トラクターが登場したことにより、動力（燃料）による人力・畜力の代替も可能になった。しかし、ヨーロッパ（ドイツ）においても、戦後初期までの牽引力の中心は畜力であった。

東アジア（日本）においても動力が人力・畜力を代替するのは戦後のことである。日本で初めて蒸気機関トラクターが登場したのは1909年であったが、農業の動力化（機械化）が

定着するのは1960年代以降であり、その間何十年もの時間が必要だった。田植、収穫といった農作業の主要な環節における人間の手、足の役割も機械により代替されるようになり、腰曲げ作業が省略されただけでなく、農繁期における労働力需要のピーク（労働力の供給不足）も解決された。1980年代になると、機械化一貫体系が完成し、日本農業の動力化が完了した。しかし、農業生産における人間の役割すべてが代替されたわけではない。

東アジアの労働力の補給過程を、労働力としての人間の役割の代替という側面からみると、第1段階として人力が動物・動力（燃料）によって代替され、動力が登場した後に第2段階として農繁期における手・足の役割が代替された。そして第3段階として人間の目・頭脳（熟練）の役割、およびより高度な手・足の役割を代替させようとするスマート農業が議論されている。スマート農業といっても、農業の本質を変えるものでもなければ、土地への働きかけや農作物の栽培にかかわる部分のあり方に変化をもたらすものでもない。

スマート農業を歴史的・段階的に位置づけようとするなら、養分補給の課題とは直結するものではなく、労働力の補給とかかわるものであり、労働力の補給の第3段階として現在進行中である。ただし、現時点においては、「農業経営効率の向上」と「農業労働環境の改善」の側面が強い。

日本においても、中国においても担い手（熟練を含む）不足問題を解決するためにスマート農業が注目されているが、いずれも高性能の農業機械・設備の利用をとまなうものである。新しい農業機械・設備は高価であり、これらの新しい農業機械・設備をどのように利用し、どのように担い手の収入を増やすかが両国の課題となろう。とりわけ、日本のスマート農業においては重要な課題である。

最後にこの点を議論し、結びとしたい。

現時点のドローン使用をみた場合、中国のほうが活気のある展開をみせている。ドローンによる肥料・農薬散布の作業受託が広範囲で行われており、そこには様々な担い手が存在する。そのため、受託料が必要以上に高くないだけでなく、ドローンの稼働率も高い。一方、作業を委託する側の農業経営体も、効率が高い割には委託料が安いので、費用を抑えることができ、担い手農業経営体の収入増につながる。担い手農業経営体といっても自らドローンを購入しなければならないわけではない。

そもそも1つの農業経営体がすべての部分作業にかかわる農業機械を保有するのは、農業機械の稼働率の観点からすると必ずしも望ましいことではない。稲作農業の場合、耕耘、田植、施肥、農薬散布、水管理、収穫といった複数種類の部分作業があり、作業ごとの専用機械が供給されている。多くの場合それぞれの部分作業専用機の適正規模が異なるため、すべての部分作業専用機を完全燃焼させることは難しい課題である。

スマート農業関連機械・設備の中で、水管理関連設備³⁶⁾を除けば、耕耘、田植、収穫にかかわる無人農業機械や施肥・農薬散布にかかわるドローンはいずれも移動可能である。中

国と日本のような南北に長い国においては、同じ作物であっても作期のずれがあり、この点を利用して農業機械の稼働率を引き上げることができる。中国で展開されているコンバイン賃刈屋やドローンの全国型業者はまさにこの点を利用しているのである。近年日本においても、「新潟県と大分県の作期がずれることを利用して、大分県の生産法人と連携し、大分県で使い終わった農業機械を新潟県に運んで使う」（山下 2015：58）事例や東海地方の農作業の受託業者は三重県、愛知県、岐阜県の作期のずれを利用して移動する（山下 2015：63）といった事例がみられる。こうした試みがスマート農業の普及とともないどのように進展するか注目したい。

そしてもう1つ、本稿で紹介した中国の事例のように、農業生産にかかわらない業種がどれほど日本の農業に参入するのも注目したい。

注

- 1) 国務院（2015）「国務院関于印発『中国製造 2025』の通知」中華人民共和国中央人民政府 HP、2019年10月10日アクセス。（http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm）
- 2) 「人工知能」（Artificial Intelligence の略）とは、『平成 29 年度 食料・農業・農村白書』の用語の解説によれば、「学習・推論・判断といった人間の知能の持つ機能を備えたコンピュータシステム」である（農林水産省 HP。 http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h29/zenbun.html、2019年4月1日アクセス。）。他方で、『日本大百科全書』（ニッポニカ）では、人工知能は「「計算（computation）」という概念と「コンピュータ（computer）」という道具を用いて「知能」を研究する計算機科学（computer science）の一分野である。誤解を恐れず平易にいいかえるならば、「これまで人間にしかできなかった知的な行為（認識、推論、言語運用、創造など）を、どのような手順（アルゴリズム）とどのようなデータ（事前情報や知識）を準備すれば、それを機械的に実行できるか」を研究する分野である」（https://japanknowledge.com/contents/nipponica/sample_koumoku.html?entryid=700、2019年4月1日アクセス）と定義されている。つまり、執筆者の佐藤理史教授（名古屋大学）によれば、「人工知能」という用語は、具体的なシステムを指す用語ではなく、研究分野を意味する言葉」（佐藤 2016：159）なのである。佐藤理史教授はさらに、「現在、専門家からみた人工知能（研究）と、世の中の多くの人々が「人工知能」ということばから想起するイメージには大きな乖離（かいり）がある。SF 小説、映画、漫画などで描かれる「人工知能」は、主体的意志をもったコンピュータシステムあるいはロボットである。一方、人工知能研究・技術によって実現されているもの（たとえば、AlphaGo）は、単なるコンピュータ・プログラムである。これらのプログラムはプログラムコードに従って「計算」しているだけで、それ以上のことは何も行わない。しかし、これらのプログラムの機能を説明する際、「システムが自ら学習する・推論する・判断する」といった擬人化表現が用いられ、あたかも意志をもった主体であるかのように描写される。このため、上記の乖離が助長される傾向にある」と続ける（https://japanknowledge.com/contents/nipponica/sample_koumoku.html?entryid=700、2019年4月1日アクセス）。
- 3) 『平成 29 年度 食料・農業・農村白書』の解説では、「Internet of Things の略でモノのインタ

ーネットのこと。世の中に存在する様々なモノがインターネットに接続され、相互に情報をやり取りして、自動認識や自動制御、遠隔操作などを行うこと」(農林水産省 HP, http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h29/zenbun.html, 2019年4月1日アクセス)と定義している。一方、村井(2015)は、「IoTとは、あらゆるモノがインターネットにアクセスする可能性を持つ状態になることである。本来の意味から言えば、RFIDもIoTの一つだが、それだけをIoTととらえる人はいまやいない。〔中略〕自動車や家電などのモノに組み込まれた、組み込み型のコンピュータによってインターネットにつながるという意味のほか、そこから発生するセンサー・データや監視カメラ映像の共有、利活用などの大規模データ処理も含めてIoTと定義する」。RFIDとは電波(RF)でモノのIDを扱う技術を指し、「インターネットの端末として発達したスマートフォンの発展によって、安価で電源を有する「モノ」の道が大きく開けてきた」とする(村井2015:30-31)。

- 4) 農林水産省 HP (http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h29/pdf/1-2-4.pdf), 2019年4月1日アクセス。
- 5) 農林水産省 HP (http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h30/attach/pdf/zenbun-26.pdf), 2019年10月4日アクセス。
- 6) スマート農業に関わる議論の中に植物工場を取り上げる場合が多いが、「無償に降り注がれる太陽光エネルギー」を利用しない植物工場に経済的合理性があるかどうか、疑問である。
- 7) 例えば、三圃制農法から四圃輪栽式への耕作体系の変化、長床犁から短床犁への代替のような事例からは、土壌の養分補給と労働力の補給は相互に影響し合うことが確認できる。
- 8) 厳密にいうと、豆科植物のほうが、カブに比べ先にヨーロッパの耕作体系に導入されている。ヨーロッパ農業におけるクローバーとカブの位置付けを区分して三段階にわける議論もある。第一段階は、穀物段階(穀物)であり、第二段階は牧草段階(穀物+牧草類)、第三段階は根菜段階(穀物+牧草類+根菜類)であるが、ここでいう第三段階が四年輪作体系にあたる。詳しくは飯沼(1967)を参照されたい。
- 9) ここで「基本的に完了」という表現を使用したのは、経済的な要因により、化学肥料を購入できない地域や農家も多く存在しているためである。
- 10) 犁は家畜のほうが人より先に牽いたという説もあり、その理由として、人力により犁を牽くのは簡単ではなく、人力による犁耕が鋤耕にくらべ労働力の節約にならないことが挙げられている。詳細についてはフランチェスカ・ブレイ(2007:162)を参照されたい。
- 11) 同時期におけるトラクターの普及台数をみると、1947年には31万台、1957年には60万台であり(熊代1969)、トラクターがかなり普及していることが確認できるが、それでも畜力牽引がメインだった。
- 12) 世界の伝統的犁型には6種類(インド犁、マレー犁、ゲルマン犁、ロシア犁、地中海犁、中国犁)ある。中国犁の特徴の1つが、作業時に犁を動かせること(揺動性)であるが、これは、長床と犁の軽さに起因する(熊代1977;董2007)。
- 13) 宮嶋(1994)は、中国では明代前期、朝鮮と日本では17世紀頃に小農社会が確立したと論じている。詳細は宮嶋(1994)を参照されたい。なお、小農社会とは、「農業社会において、自ら土地を所有するか他人の土地を借り入れるかを問わず、基本的には自己および家族労働力のみをもって独立した農業経営を行なう小農が、支配的な存在であるような社会」(宮嶋1994:70)を指す。

スマート農業の歴史的・技術論的位置づけ

- 14) Jethro Tull (1674-1740 年) は、バークシャーの地主出身。詳細は飯沼 (1967) を参照されたい。
- 15) データがやや古いですが、最新の資料によって、計算できるのは播種・田植の機械化率だけであるためである。2019 年 9 月末時点における最新版の『中国農業統計資料』2017 年版によれば、機械による耕耘面積は 1 億 2381.7 万ヘクタール、播種・田植面積は 9181.3 万ヘクタール、収穫面積は 9637.3 万ヘクタールである。これらの数字からそれぞれの率を求めるためには、農作物の総耕耘面積、総播種面積、総収穫面積のデータが必要であるが、公開されているのは、総播種面積 1 億 6633.2 万ヘクタールのみである。総耕耘面積を求めるためには、耕耘を行わずに播種した面積のデータが必要であるが、このデータは公表されていない。近年「免耕播種機」(耕耘を行わずに播種する機械) による播種が広く行われるようになっており、2017 年における全国の免耕播種機の台数は 96.52 万台に達している。総収穫面積を求めるためには「総収面積」が必要である。総収面積とは自然災害により収穫がゼロになった面積である。唯一計算できるのは、播種・田植の機械化率であるが、上記数字に基づいて計算してみると、2017 年の播種・田植の機械化率は 55.2% で、2015 年に比べ 3% 程度向上している。
- 16) 『中国農業統計資料 2017』によれば、2017 年における稲の総作付面積は 3074.72 万ヘクタールであり、水稻の機械耕耘面積は 2964.84 万ヘクタール、機械播種・田植面積は 1455.81 万ヘクタール、機械収穫の面積は 2683.3 万ヘクタールであった。総収面積と耕耘を行わずに播種を行った面積がないと仮設したうえで、水稻の耕耘、播種・田植、収穫の機械化率を計算してみると、それぞれ 96.4%、47.3%、87.3% であった。播種・田植の機械化が遅れていることが確認できる。播種・田植は時期が限られるため、広範囲にわたる作業委託のハードルが高く、田植機を購入できない農家においては手作業による田植が行われていると思われる。
- 17) 詳細については、李海訓 (2015) を参照されたい。
- 18) スマート農業について、「肉体労働から逃避したいと農業技術を発達させてきた」(藤原 2017: 243) との見方もある。詳細は藤原 (2017) を参照されたい。
- 19) 「中国製造 2025」において、ドローンは農業機械ではなく、航空設備に含まれる。(国務院 (2015) 「国務院関于印発『中国製造 2025』的通知」中華人民共和国中央人民政府 HP, http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm, 2019 年 10 月 10 日アクセス)。ただし、河南省においては農業機械化の推進の一環として 2014 年からドローンに補助金を出しており (伊藤 2017)、黒竜江省においても 2019 年からドローンは農業機械購入補助金の対象になった。
- 20) DJI JAPAN 株式会社 HP。2019 年 10 月 10 日アクセス。(https://www.dji.com/jp/company?site=brandsite&from=footer)
- 21) クボタ HP によると、アグリロボコンバインには 3 つの型式がある。「WRH1200A-2.1」, 「WRH1200A-2.6W」, 「WRH1200A-3.2W」との 3 種類があるが、「2.1」, 「2.6」, 「3.2」はそれぞれ刈幅が 2.1 メートル、2.6 メートル、3.2 メートルであることを意味し、W はクローラ幅が 550 ミリメートルであることを意味する。それぞれの希望小売価格 (税別) は、1570 万円、1620 万円、1680 万円であり、このほかに、GPS ユニット (基地局) が必要とされ、この GPS ユニットは 120 万円 (税別) である (クボタ HP 参照。2019 年 10 月 2 日アクセス。https://www.kubota.co.jp/new/2018/18-17j.html)。
- 22) クボタ HP。2019 年 10 月 2 日アクセス。(https://www.kubota.co.jp/new/2018/18-17j.html)。

- 23) 中国では 10-12 万元必要とされるといわれるが、この場合発電機も含まれる場合がある。
- 24) ちなみに、同試算によると 1 農業経営体当たりの水田の面積は 2.12 ヘクタールである（農林水産省 2016a）。
- 25) トラクターとコンバインは稲以外の作物にも使われるため、同類の計算はできない。
- 26) 農協がドローンによる肥料・農薬散布を勧めているという。
- 27) 育苗ハウスを活用してパプリカ生産を行っている山形県遊佐町のような事例もある。
- 28) 100 km 以上のところからの委託がある場合は、散布面積が 30 ヘクタール以上ではないと受けないという。日帰りが困難で 2 人が宿泊する費用が必要になるためである。
- 29) 購入以外にドローンメーカーからレンタルするケースもある。例えば、DJI のドローンは、保証金 1 万円を出せば、年間 1.2~2 万元（約 20~33 万円）でレンタルできる。
- 30) 大規模農業経営体は、自分の農地での作業のない時間を利用し、積極的に作業委託を受ける。
- 31) この点、日本のドラッグストアと類似している。同じ商品（食料品）でもドラッグストアの方がスーパーに比べ安価であるが、それは、「医薬品の粗利率は 30~40% 台。食品などは 10~20% 台。利幅の大きい医薬品があるため、競合の小売りより食品を値下げできる余地が大きい」（『日本経済新聞』2018 年 6 月 18 日、朝刊）からである。
- 32) 中国産業調研網 HP。2019 年 10 月 7 日アクセス。（<http://www.cir.cn/0/97/NongYaoLiuTongShiChangXianZhuang.html>）
- 33) 補助剤とは、噴霧された液体農薬の降下促進剤や植物の葉っぱなどから流されないようにする接着剤などをいう。
- 34) 『全国農産物コスト資料彙編』2018 年版。2019 年 10 月 3 日時点で『全国農産物コスト資料彙編』は、2017 年のデータが記載されている 2018 年版が最新である。2017 年と 2018 年のヘクタール当たり米販売額に大差ないと仮定し、2017 年の数字を示した。
- 35) 2018 年島根県の 10 a 当たり収量は 524 kg であり（農林水産省『平成 30 年産作物統計』、農林水産省 HP）、高品質米を農協に出荷する場合の価格は、250 円/kg であった。
- 36) パディウォッチの計測器付きボールなどは同じ圃場で使用する期間が長く、無人農業機械やドローンのように移動できるものではないと思われる。パディウォッチとは、水稲向け水管理支援システム「Paddy Watch」のことで、「開発したのは食や農などの分野においてセンサーネットワーク応用システムの設計をするイーラボ・エクスペリエンス。パディウォッチに搭載した通信モジュールを提供する NTT ドコモが、二〇一六年四月から販売している。パディウォッチでは、センサーを使って、水田の水位、水温、気温、湿度という四つの情報を定期的に計測し、そのデータをインターネット経由でサーバーに蓄積していく。このとき利用者のパソコンやスマートフォン、タブレットにも、同じ情報が同時配信される」（窪田 2017: 75）。

参 考 文 献

- ・ 芦田裕介（2016）『農業機械の社会学』昭和堂。
- ・ 飯沼二郎（1967）『農業革命論』未来社。
- ・ 池上彰英（2017a）「「転換点」後の農業問題」田島俊雄・池上彰英編『WTO 体制下の中国農業・農村問題』東京大学出版会。
- ・ 池上彰英（2017b）「新型農業経営体系の構築」田島俊雄・池上彰英編『WTO 体制下の中国農

スマート農業の歴史的・技術論的位置づけ

- 業・農村問題』東京大学出版会。
- ・池上甲一（2019）「ICT・AI技術は農法たりえてるか—農業技術と農法論の視点から」『農業と経済』2019年4月臨時増刊号85（3）。
 - ・伊藤亜聖（2017）『中国ドローン産業報告書2017』東京大学社会科学研究所。
 - ・伊藤喜雄（1979）『農業の技術と経営』家の光協会。
 - ・加用信文（1972）『日本農法論』御茶の水書房。
 - ・窪田新之助（2017）『日本発「ロボットAI農業」の凄い未来』講談社。
 - ・熊代幸雄（1969）『比較農法論』御茶の水書房。
 - ・熊代幸雄（1977）「乾地農法における精耕細作の基礎—その世界史的意義—」熊代幸雄・小島麗逸編『中国農法の展開』アジア経済研究所。
 - ・近藤康男（1950）『硫安』日本評論社。
 - ・佐藤理史（2016）『コンピューターが小説を書く日—AI作家に「賞」は取れるか—』日本経済新聞出版社。
 - ・清水浩（1954）「農機具発達の一段階」農業発達史調査会編『日本農業発達史4』中央公論社。
 - ・生源寺眞一（2011）『日本農業の真実』筑摩書房。
 - ・杉山伸也（2014）『グローバル経済史入門』岩波新書。
 - ・田島俊雄（1996）『中国農業の構造と変動』御茶の水書房。
 - ・田島俊雄（2006）「農業農村調査の系譜—北京大学農村経済研究所と〈齊民要術〉研究—」末廣昭編『「帝国」日本の学知 第6巻』岩波書店。
 - ・田島俊雄・池上彰英（2017）『WTO体制下の中国農業・農村問題』東京大学出版会。
 - ・田中学（1995）「稲作機械化の展開とその特質」日本農業研究所『水田稲作農業の生態的考察』日本農業研究所。
 - ・田原虎次・川廷謹造（1972）『農業機械』農山漁村文化協会。
 - ・暉峻衆三（1996）『日本農業100年のあゆみ』有斐閣。
 - ・南石晃明・長命洋佑・松江勇次編著（2016）『TPP時代の稲作経営革新とスマート農業—営農技術パッケージとICT活用—』養賢堂。
 - ・西川邦夫（2015）『「政策転換」と水田農業の担い手』農林統計出版。
 - ・日経ビジネス編（2017）『稼げる農業—AIと人材がここまで変える—』日経BP社。
 - ・農林水産省（2016a）「農業機械をめぐる情勢」農林水産省HP（http://www.maff.go.jp/j/council/sizai/kikai/25/pdf/ref_data3.pdf）。
 - ・農林水産省（2016b）「農業をめぐる情勢」農林水産省HP（<http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/noyaku/attach/pdf/index-1.pdf>）。
 - ・農林水産省経営局経営政策課（2019）「担い手をめぐる情勢について」農林水産省HP（http://www.maff.go.jp/j/kobetu_ninaite/attach/pdf/index-9.pdf）。
 - ・農林水産省生産局農産部技術普及課生産資材対策室（2015）「農業機械をめぐる情勢」農林水産省HP（<http://www.maff.go.jp/j/council/sizai/kikai/20/pdf/data1.pdf>）。
 - ・速水佑次郎・神門善久（2002）『農業経済論 新版』岩波書店。
 - ・藤原辰史（2017）『トラクターの世界史』中央公論新社。
 - ・フランチェスカ・ブレイ著、古川久雄訳（2007）『中国農業史』京都大学学術出版会。
 - ・三沢嶽郎（1958）『イギリスの農業経済』農林水産業生産性向上会議。

- ・宮嶋博史 (1994) 「東アジア小農社会の形成」溝口雄三・浜下武志・平石直昭・宮嶋博史編 (1994) 『アジアから考える⁶⁾ 長期社会変動』東京大学出版会。
- ・三輪泰史 (2017) 「農業人口の減少をチャンスに変える」日経ビジネス編 (2017) 『稼げる農業— AI と人材がここまで変える—』日経 BP 社。
- ・三輪泰史・井熊均・木通秀樹 (2016) 『IoT が拓く次世代農業 アグリカルチャー 4.0 の時代』日刊工業新聞社。
- ・村井純 (2015) 「デジタル・ファブリケーション時代が到来する IoT という新たな産業革命」『Harvard business review』(ダイヤモンド社) 40 (4)。
- ・山下一仁 (2015) 『日本農業は世界に勝てる』日本経済新聞出版社。
- ・李海訓 (2015) 『中国東北における稲作農業の展開過程』御茶の水書房。
- ・ルース・ドフリース著, 小川敏子訳 (2016) 『食糧と人間— 飢餓を克服した大増産の文明史—』日本経済新聞出版社。
- ・和田一雄 (1979) 『耕耘機誕生』富民協会。
- ・和田一雄 (1988) 『田植の技術史』ミネルヴェ書房。
- ・渡邊智之 (2018) 『スマート農業のすすめ~次世代農業人 (スマートファーマー) の心得』産業開発機構株式会社。
- ・董恺忱 (2007) 『東亜与西欧農法比較研究』中国農業出版社。
- ・農業部農薬検定所編 (2013) 『2012 年中国農薬発展報告』中国農業出版社。

付記：本稿は、平成 28-31 年度科学研究費助成〈若手研究 (B) 課題番号 16K21267〉による研究成果の一部である。