

近代農法はどちらに向かって変わるのか？

古在 豊樹*

〔キーワード〕：グローバル技術、限界費用、植物工場、都市農業、ローカル技術

1. はじめに

約 1 万年前に開始された「家畜化・栽培化 (domestication)」, 1.5 千年前に開始された「牛馬農耕・有機たい肥利用」, その後の「在来農法」, 産業革命後の「近代農業」, そして近代農業の次にくる農業技術革命はどこに向かうのだろうか。また, それに関連して, 私たちの「都市の文化」, 「食の文化」はどのように変わるのか。施設園芸・植物工場に関わる研究者の立場から本稿で私見・試論を述べてみたい。

近代農業は, 単作と農業機械の導入による大規模集中化, 化学肥料・農薬の大量投入および灌がい設備の整備を通じて, 収量を増大させる反面, 化石燃料とその製品および水を大量消費してきた。1980 年以降は近代育種の成果が本格的に導入され始めた。近代産業と一体となった近代農業は, 大気 CO₂ 濃度上昇, 気候変動・異常気象, 生物多様性減少, 環境劣化, 都市人口増加, 農村人口の減少と高齢化などに直面している。そこで, 今後 50 年間の「先端技術による農業生産」と「食の文化」の動向についての議論を深めるためのいくつかの話題を以下に提供してみたい。

2. 「食と文化」に関する基本的視点 (古在 2008a, 2008b, 2009, 2011, 2012a, 2014)

文化 (culture) の起源は主に農耕 (culture) であろう。農耕・文化は風土 (気候・土壌・地形・景観・歴史など) に影響されることから, ローカル (地域的) で多様性に富む。他方, 都市 (city) においては, 農耕に関わることのない市民 (citizen) が文明 (civilization) を生みだした。文明はユニバーサル (グローバル) で, 普遍性, 開発志向・拡大志向を有する。文化と文明はしばしば同様な意味合いで用いられるが, それが農村・農業・農民から生まれたのか, 都市・市民から生まれたのかの区別は, その

特色を考える上で意味がある。

文化には芸術, 技術, 学術が包含され, 学術には科学, 技術, 教育, 普及が包含される。技術は, 文化と関連するローカル技術と文明と関連するグローバル技術に大別される。現代のグローバル技術の代表例は情報技術 (インターネット空間技術) とバイオ技術 (ゲノム編集技術など) であり, 今後は, 両技術の融合 (広義のアグリ/バイオ・インフォマティクス) が進展する。在来農法は主にローカル技術で支えられているが, 近代農業技術はローカルな風土に規定されながらもグローバル技術への依存度を高めてきた。

農耕および文化の特質は「いのち (life)」を生み, 育み, 継承することにある。いのちは, 個体だけでなく多様な社会 (コミュニティ) にも宿る (広井, 2015)。いのちは, 心, 身, 食および環境により育まれる。心は, 情動 (ゲノム), 知覚, (生きる) 動機および言語で育まれる。

3. 次世代農業の視点

ー近代農業をどう超えるかー

私たちが今後を目指すべき質の高い持続性社会では, 「農村と都市」, 「農業と工業」, 「文化と文明」という二項対立的な概念を超えることが求められる。そして, 現在の農業のローカル性 (文化性) と持続性をより豊かで高品質にするために, グローバル技術を適切に利用する視点が必要になる。グローバル技術の利用により, 農業のローカル性を豊かにし, また持続性を向上させるだけでなく, 生物生産性も向上させることができる。

他方, 都市のグローバル性 (大規模集中化, 均一性, 資源多消費性, 拡大志向性) に潜む脆弱性を補強するためには, 地域資源を活かしたローカル技術の統合的併用が必要とされる。ローカル技術の利用により, 都市内の物質循環・再利用が増し, その生態学的な持続性が向上し, さらに地域文化が創生される。

グローバル技術の具体例であるインターネット

*千葉大学名誉教授 (Toyoki Kozai)

を介したスマートフォンの利用法は、多様性、地域性、個別性に富み、世界中で新しい地域文化の形成に役立っている。これは、インターネットとスマートフォンの基本システムは世界共通（グローバル）で汎用性に富むが、その利用法と入出力情報は地域的、個人的（パーソナル）だからである。

近代社会の市民は、大企業による新聞、テレビ、映画などのマスメディアに一方的な影響を受けてきた。しかし、現代の若者社会ではマスメディアの影響力は衰退し、メディアの多様化、地域化、グループ化、双方化が進行している。また、近代産業では利潤追求を目的とする大企業が社会を動かす大きな力であったが、今後は社会貢献を主目的とする社会起業家によるソーシャルビジネスが社会を動かす大きな力となってゆく。この運動を担っていくのは、自動車、マイホーム、高級家具、貴金属などの物質的な豊かさよりも地域・社会・仲間との絆や貢献を重視する若年層および定年退職者である。

4. 情報利用の限界費用

上述の傾向を生み出す根源的理由は、情報技術利用に関する限界費用（marginal cost, 1 単位の価値を生み出すための総費用）がゼロに近づいていることにある（リフキン 2015）。インターネット上では、無数の高機能なアプリ（応用ソフトウェア）が無料または安価に利用できる。同時に、無料公開されている膨大なデータ・ベースが増え続けている。イネ、トマト、ヒトのゲノム（全遺伝子情報）や気象・地理・農業情報さらには学術情報全般もしかりである。すなわち、インターネットの電腦空間には人類の英知が蓄積され続け、その多くが公開されている。同時に、無駄・間違い情報が多く、情報保護にも問題が多い。今後、情報および遺伝子に関するグローバル・コモンズ（global commons）の構築に全関係者が参加し、その公開性、透明性、協働性、公平性を確保することが必要とされる。

今後の農業生産における収量や資源の利用効率は、上述の無料情報と安価で微小な高性能センサーのネットワーク化された情報通信技術（ICT, information and communication technology）の農業生産における活用によりかなり向上する。情報の高度利用が普及し、情報の限界費用がゼロに近づくと、大規模・単作の利点はしだいに消失し、農地の分散

化、農業の協働と水平展開が進展する。こうなると農業生産の社会構造も変化せざるを得ない。コンピュータ利用の世界では、既に、大型コンピュータ集中型からスマートフォン、タブレット型小型コンピュータなどによる知能化協調自立分散ネットワーク型に移行し、分散・協働・水平展開が進んでいる（リフキン, 2015）。同様に、農業生産の現場空間（露地や園芸施設）は知能化協調自立分散ネットワーク型に移行していく。

5. エネルギーと物品製造に関する限界費用の低下

今後、エネルギーの限界費用の低下が生じ、長期的にはゼロに近づいていく。原子力・火力発電所による大型集中発電から、多様な地域資源（太陽光・水力・風力・バイオマス・地熱・廃棄物）を利用した地域型発電に次第に移行する。熱エネルギーのカスケード型（高温から低温への段階的）利用も普及する。情報利用とエネルギー利用の地域化が普及すれば、農業を含めて、生産業とその生産物流通の地域化が並行して進む。

さらには、今後、情報技術と製造技術の融合である3D（3次元）プリンタ（設計図を入力すると原材料からその立体的な製品が自動製造されるパーソナルに使用が可能な機械）の普及が進む（小笠原, 2015）。その設計図の多くと利用法はインターネット経由で無料入手できる。入手した設計図を加工してできる新たな設計図は使用後に電腦空間に公開され蓄積される。

さらには、インターネットを介してある物品の注文をすると、そのデータだけが地域の3Dプリンタ・ショップまたは自宅に送られ、物品はそのショップまたは自宅の3Dプリンタで製造されるようになる。すると、3Dプリンタと地域資源を利用した製品のコストがさらに低下する。その結果、製造機械の個人所有・個人使用とその生産物の個人生産が可能になり、生産業の地域化が進み、グローバル技術を基盤とする地域文化がさらに進展する。事実、近代農業・近代産業とは質的に異なる現代農業、現代産業が既に動き始めていて、その動きは、今後の「農業構造」そして「食の文化」の変化の原動力になる。さらには、都市における農村的機能（食料生産、食料コモンズ形成、都市内資源循環など）の向上が進む。

6. 食料生産システムの多様性と持続性 (古在 2015)

食料生産空間としての露地(田畑)と人工光型植物工場の間には、種々の資材・施設・施設を利用した多様なシステムが存在している。資材とは防風ネット・防虫ネット、かん水チューブ、マルチ(地面被覆)フィルムなどであり、装置とは養液栽培装置、かん水機器など、施設とはトンネル、ハウス、環境制御温室などである。

これら多様なシステムは、植物体茎葉部(地上部)および根圏部の環境の自然および人為の安定性と制御性の相違により以下の4種に大別できる。①根圏部環境の自然安定性を重視する露地栽培。②植物体茎葉部環境の人為安定性を重視する園芸施設。③植物体根部の人為安定性を重視する養液栽培。④茎葉部および根部の環境の人為安定性と人為制御性を重視する人工光型植物工場、である。

施設農業において過去に開発された技術の多くは、現在、露地農業で形を変えて利用されている。たとえば、接木苗の利用がそうである。同様に、人工光型植物工場の生産物は今後も農産物のほんの一部を占めるに過ぎないが、そこで開発された技術の多くは長期的には時空を超えて施設農業、露地農業、食の文化さらには生活文化の一部として進展しつつ利用される。

基本的に、カロリー摂取を主目的とする食糧植物(staple crops, 穀類, イモ類)は田畑で生産される。他方、機能性物質(機能性成分, 色, 匂い, 形, 食感など)の摂取・利用を目的とする園芸植物などは施設での生産割合が高くなる。食料生産システムが多様であり、しかもそれらが共通な情報基盤を有することは、各種のリスクに対する地域の食料安全保障の向上に重要である。

このような多様な食料生産システムが、今後、水と石油資源の消費を大幅に節減し、地域エネルギーを効率良く利用し、地域の持続性を高めるには、上述の意味での情報技術とエネルギー技術の導入が欠かせない。また、地域資源を利用した建築資材と建築に必要なエネルギーの大幅節減には、3D プリントに代表される次世代産業機械の導入が欠かせない。これらの産業機械の限界費用も今後次第にゼロに近づいていく。

大学の一流教授陣がインターネット経由で世界

中に講義を無料またはきわめて安価に配信するMOOC(Massive Open Online Courses)が普及してゆくと、教育の限界費用もゼロに近づいていく。農業・農学に関する質の高いMOOCが普及すれば世界の各地で省資源・環境保全型の農業生産性向上が実現する。

さらに、農業機械を含めた移動・作業・運搬のための機械類のシェア利用(カーシェアリングや自転車シェアリングのように)が機械類コモンズとして普及する。また、機械類・装置類の故障した部品の設計図をダウンロードして地域または自宅で製造するようになる。そうすると、地域コミュニティにおける文化創造と省資源が並行的に進展する。情報、エネルギーおよびロジスティクス(物流)が上述のように統合されたシステムが、IoT(Internet of Things, モノ・コトのインターネット)の今後の姿だといえる。このような時代になると、農業者は、以前とは別の形で、敬称としての百姓(100の職業をこなす人)となる。そして、新しい市民科学、当事者科学が創造される(古在 2012a)。

7. 都市住民の農業体験と食の文化 (古在 2014b)

世界的に都市人口が増大し農村人口が減少している。食料生産の経験が無い都市住民が形成する食の文化は現場・現実・自然の体験から離れていかざるを得ない。他方、都市の土地は高価なので生活圏で、広い田畑での農耕を日常的に経験・見聞する機会は極めて少ない。都市住民が生活圏で食料生産を模擬経験し得るのは家庭菜園、市民農園、人工光型植物工場を含む施設生産などである。そして、それらを利用する「耕す市民」が増えている。これら市民による食料生産には、安全、軽作業、容易な栽培、適切な情報の提供と交換などのサービスが必要とされる。そのサービス向上により、耕す市民がさらに増えていけば、市民のライフスタイルや思考方法が変化していく。このムーブメントは今後の食の文化の形成を考える上での1つの視点となる。さらには、「耕す市民」は食料生産の基本リテラシー(能力)を身に付けることになるので、都市機能が麻痺するなどの大災害時における市民のサバイバルに役立つ。

もう1つの視点は、都市が排出する大量の劣化資源(CO₂, 生活排水, 生ごみ, 排熱など)である。

これらは適切な処理をすれば、植物生産の必須資源（CO₂、水、肥料、培地、熱源など）に変換される。したがって、都市内での植物生産は物質・エネルギー循環を促進することになるので、都市における石油資源消費と劣化資源排出が減少する。

植物生産には、上述の資源に加えて、大量の光エネルギーが必須である。人工光型植物工場では、この光エネルギーを、都市の夜間で余剰となる電力および自然エネルギー（太陽光、風力、水力、バイオマス、地熱）発電で、かなりの部分を今後まかなうことになる。上述の情報・エネルギー・機械に関するグローバル技術を基盤とすれば、人工光型植物工場の普及性は高まり、地域の食の文化と地域持続性の向上に資する。

田畑での農業生産性の向上を阻んでいる自然資源に関する主要因は土地面積、気象（強風、大雨・水不足、雪・雹、高低温など）および土壌（塩類集積、土壌汚染など）である。以下で述べる人工光型植物工場はこれらの制約を解消する手段として、特に、人口密度が高い都市での利用が期待されている。

8. 人工光型植物工場の特徴（古在 2012b, 2015; Kozai et al. 2015）と今後の食の文化

本節で述べる人工光型植物工場（以下、植物工場）の基本要素は、①密閉性が高い断熱壁で囲われた構造物、②光源と養液栽培装置が設置された多段（10～15段）の栽培棚、③CO₂施用装置、④養液供給装置、⑤エアコンおよび⑥これらの制御装置である。主として葉もの野菜、香草・薬草・ハーブ、小型根菜が栽培される。植物工場には、商業的生産販売用に加えて、家庭用、生涯学習用、教育用、趣味用、店舗用もある。

商業生産用の植物工場の年間の土地面積当たりの生産額は畑地での葉もの野菜栽培のその約200倍、施設での養液栽培の10～15倍である。養液栽培施設と比較すると、同量の販売物を生産するために必要なかん水量は約1/50、作業時間は約1/2、土地面積は1/100以下である。露地栽培・施設栽培に比較しての植物工場の特徴は、①収量、品質および生産コストが異常気象（強風、豪雨、高低温など）などに影響されない、②害虫被害がほぼ皆無で無農薬栽培（生野菜でも洗浄は不必要）、③植物体の可食部分の割合が多い、④生産作業が快適な環境下で

安全である、などである。目指すことは、生産に必要な投入資源量と環境汚染物質排出量・残さ量の最小化、資源の内部循環、周年安定生産、生産物と作業者の安全と健康、および土地面積の制約などからの脱却、である。この目標は、遠からず、必ず実現する。

植物工場の本質的な利点は、①投入資源と生産物・廃棄物の種類と量の時刻経過が正確に測定可能で、生産プロセスのトレーサビリティ（追跡管理）が高い、②環境と植物成長の因果関係が比較的単純なので、それを発見し制御しやすい、③小規模な実験結果が中規模工場、大規模工場でも適用可能、④世界中の植物工場間での栽培結果を比較し得る、などである。

上述の利点と前述の情報技術を組み合わせて、世界の植物工場をインターネットで結びつけ、そこで得られたデータと解析方法をオープンなプラットフォームにインターネットを介して送り（Harper and Siller, 2015）、さらには前述の地域エネルギー技術と製造技術を統合するのが今後の植物工場の姿である。

将来、ある野菜を栽培したいというメッセージを上記プラットフォームにある人が送信すると、近隣の住民がその種苗を分けてくれて、またその野菜の栽培法や料理法は無料でダウンロードできるようになる。そして、その経験やデータはアップロードできる。オープンなプラットフォームに蓄積されたデータと知見は、グローバルな農業技術コモンズを形成し、省資源・環境保全型の農産物高生産に関する技術と科学の進展を促進する。

農業では、従来、農業関係者が農業者・農業生産に役立つ技術の開発と利用さらにはその社会的仕組みづくりに努めてきた。今後は、それに加えて、市民と共に行う研究開発、市民のための食料生産システム構築、すなわち、市民農業・市民農学の進展が必要となり、さらには市民農業・市民農学と職業的農業・職業者用農学との連携が重要になる。

以上の進展により、生物生産・食料生産さらには食料・環境・資源を統合的に理解するための基本原理をリテラシーとして身に付ける都市民が増えていく。そして、地産地消ならびに可能な限りの自給自足が進むと、都市民は食料生産に関してプロシューマ（prosumer、生産者かつ消費者）的素養を

も身に付け、21世紀半ば以降の「食の文化」は大きく変貌する。上述の時代の流れは、ポスト資本主義（広井 2015）の流れとその方向性を共有する。

さて、2016年現在、商業的な生産販売を行っている植物工場は約200であるが、黒字経営は30%、収支均衡経営が50%、赤字経営が約20%とされている。ビジネスとしても技術開発としても黎明期である植物工場は、新規参入者の多くが植物栽培と栽培環境制御に関して技術的に初級段階にあることが、黒字経営比率が少ない大きな理由である。現状では、生産コストの30%が減価償却費、25%が電力代金、25%が人件費、残りの20%は種子、肥料、包装、流通などの諸経費である。他方、2025年までに生産量あたりの消費電力量は1/2以下になる。しかしながら、植物工場の現状を見ているだけでは、本稿で述べる今後の植物工場は見えてこない。今後の植物工場は、今後の市民のライフスタイルを動かしていくであろう情報、エネルギーおよび機械装置に関する限界費用ゼロへの動きと合わせて考察する必要がある。

9. 今後に向けて

上述のように、「植物工場」は、将来にわたり、農産物のほんの一部を生産するに過ぎない。主食用の穀類およびイモ類さらには工芸植物の大半は、今後とも田畑で栽培される。園芸植物のほとんども畑または園芸施設で栽培される。田畑では、堆肥・有機肥料の施用などによる、絶え間ない土壌改善と化学肥料・化学農薬の可能な限りの施用量節減が必要とされる。これらの農業ではその地域の気候風土に適した技術の開発が本質的に重要である。そこにおいて、植物工場が開発された計測システムは田畑農業において十分に応用展開が可能なはずである。

田畑農業は、在来農法/有機農法/自然農法を含めて、今後とも農業の根幹をなす。従来、その思想、方法および技術体系の次世代への継承は、自然と農地・生物に対して人間の五感をフル活用して得た数多くの経験とその総合能力を身に付けた篤農家的存在に頼らざるを得なかった。その重要性は今後とも不変であるが、今後の新規農業就業者には、篤農家と同様な感性や直感力を求めるのは現実的でない。したがって、地域の自然資源を最大限に活かし、地域文化を創造し得る田畑農業や施設農業の技術体

系の進展と継承に、本稿で述べた情報・エネルギー・バイオ・物質に関するグローバル技術を利用することを否定すべきではないだろう。

古来、ヨーロッパでは、西洋思想、西洋科学および西洋技術が発展し、その影響はアジアを含め世界中で広まっている。他方、東洋には、古来、東洋思想、東洋技術（鍼灸を含む漢方医療など）および東洋芸術を発展させ世界中に大きな影響を与えてきた。しかし、東洋科学の構築は十分でない。東洋思想や東洋技術から東洋科学を構築する方法論の発展が十分でないことによる。近年の情報技術の発展により、システム構造が複雑で、しかもその構造が時間と共に変換する多変量・非線形な生態系の仕組みを理解するための、大量データを取り扱う人工知能的手法が実用段階になってきている。これらの手法は農業生態系の理解と制御に今後有効に利用されると期待される。

それぞれの地域での多様な植物生産システムの存在は、その地域の持続性を向上させる上で欠かせない。他方、多様な植物生産システムに関する情報が相互交換され、それぞれに役立つ仕組みが必要とされる。さらには、植物生産システムと他の多様なシステムや自然環境との統合的安定性が必要とされる。今後、都市またはその近郊において、「100ヘクタールの野菜畑」と「1ヘクタールの植物工場と99ヘクタールの自然林・緑地」はどちらもが市民または持続的社会の構築にとって好ましいかといった関係者全体による議論と科学的考察が期待される。

謝辞

2015年度の食の文化フォーラム「採集から栽培へ」（公益財団法人味の素食の文化センター主催）の第1回「採集と栽培（6月）」、第2回「在来農法と近代農法（9月）」に参加させていただく機会を筆者は得た。第3回「近代農法を越えて（3月）」で「栽培技術の最先端の問題点」について筆者が話題提供するために1月末に取りまとめた「講演要旨」を加筆したものが本稿である。「食の文化フォーラム」は、1982年以来、毎年開催され、その毎年の成果は出版されている。本稿執筆のきっかけを与えてくださった関係者に深甚の謝意を表する。

引用文献

- 小笠原治 2015. メイカーズ進化論, NHK 出版新書. p.213.
- 古在豊樹 2008a. 「幸せの種は」きつとみつかると. 祥伝社. p.257.
- 古在豊樹 2008b. 持続可能な社会のための科学技術の方向性. 広井良典編(環境と福祉の統合). 有斐閣. pp.83-100.
- 古在豊樹 2009. 「農」を基盤とした文化・学術. 農業および園芸 84 (2): 225-232.
- 古在豊樹 2011. 育み・養生・看護ー自然主義・市民科学・統合科学の視点からー. 文化看護学会誌 3 (1): 45-49.
- 古在豊樹 2012a. 当事者科学と市民科学ーこれからの看護と統合科学の関係ー. 日本老年学会誌 11 月号: 12-17.
- 古在豊樹 2012b. 人工光型植物工場. オーム社. p.228.
- 古在豊樹 2014a. ケアサイエンスの必要性和看護の役割. 日本看護系学会協議会 ホームページ <http://www.jana-office.com/sympo/sympo20140301.pdf>.
- 古在豊樹 2014b. 都市における生鮮食料生産の多面的意義. 農業および園芸 89 (10): 994-1006.
- 古在豊樹(監修) 2015. 図解でよくわかる植物工場のきほん. 誠文堂新光社. p.159.
- Kozai, T., G. Niu and M. Takagaki 2015. Plant Factory: Indoor vertical farming for efficient quality food production. Elsevier. p.443.
- ジェレミー・リフキン(著)(柴田裕之訳) 2015. 限界費用ゼロ社会. NHK 出版. p.531.
- Harper, C. and M. Siller. 2015. OpenAg: A globally distributed network of food computing. Pervasive Computing (IEEE). 14(4): 24-27.
- 広井良則 2015. ポスト資本主義(岩波新書). p.260.