

# 農工融合によるフードイノベーションを目指して

## — Think globally, act locally —

野口 伸

北海道大学大学院農学研究院教授

### はじめに

我が国の科学技術は明治以降、欧米追従型で発展し、いまでは先進諸国と肩を並べる水準に達した。これからは我が国独特な科学技術の発展方向と方法論を生み出す必要があるのではないかと常々感じている。日本人研究者は学際領域において成果を上げているようだ。たぶん、これはアジアの研究者に共通な特性のような気もするが、日本の強みや文化に合った学術のフレームワークがあって良いような気がする。新政権の誕生によって東アジア共同体構想がにわかに注目を集めているが、農学・食料科学を実学の立場から研究しているものにとって、その動向には注視している。たとえば、中国は農産物の輸入相手国としては米国に次いで第2位であるようにフードマイレージの点から今後リージョナルな食料流通の拡大が予想される。東アジア共同体構想が進む過程で、それぞれの国の農業、食料流通がどのような影響を受けるか予断を許さないと予感している。

私は「工学」を専門としているが、我々が扱う科学技術は「地域」を無視することができない。方法論としては普遍的で汎用性の高い技術の開発を目指しつつ、実際には「地域」にその技術を実装して成果を上げることが使命である。本稿では技術開発としての農学研究の一端を紹介させていただき、広範な学術分野を抱える「農学」の中の「工学」の役割・重要性を少しでも理解いただければ望外の幸せである。

### グローバル vs. ローカル

従来から農水産業が果たさなければならない役割は、食料を持続的に生産し、人間の生命・生活を維持・発展させることにある。世界の人口は現

在の 67 億人から 2050 年には 1.3 倍の 91 億人に達することが見込まれ、食料不足と偏在は今まで以上に進むと予測されている。2009 年現在、世界では 10 億 2 千万人の人が飢えで苦しんでおり、アフリカ諸国を中心に 1 日に 2 万 5 千人以上が餓死している。

20 世紀の食料生産技術は生産性向上を目指して、過度な灌漑を行い、機械を大型化し、化学肥料や農薬を大量に消費するといった投入エネルギーの増大を基盤として発展してきた。しかし、作業効率や生産性は向上したものの、農地やその周辺に与える環境負荷が増大し、塩害や砂漠化など地域環境を犠牲にする結果となった。近年肥料や農薬を多投して生産量を向上させることの限界を認識して、持続可能な食料生産システムの構築が必要との認識が国際的に高まっている。また異常気象による不作や投機的資金の市場流入、化学肥料価格の高騰、バイオ燃料との生産競合などによって世界の食料価格は高水準に達し、小麦、大豆、トウモロコシの価格は 2 年間に 3 倍近くに高騰した。さらに中国・インド・ロシアなど BRICS の経済成長は食生活の変化を生み、飼料用穀物や油糧種子の大量消費によって食料需要の増加をもたらし、今後食料の不足がさらに進行することが世界的に懸念されている。地球規模の食料不足の原因は、人口の増加、食生活の高度化、農業生産性の低下、そして気候変動などがあげられるが、エネルギー、生態系共生、省資源など複眼的な視点から地域に適した持続可能な食生産システムを構築することが肝要である。すなわち、「Think globally, act locally」を念頭においた対応戦略である。

2009 年 11 月にローマで開かれた国連食糧農業機関 (FAO) の「食料サミット」では「2050 年に 90 億人を突破する世界人口を養うためには食料生産量を今より 70% 増やす必要がある」との共同宣言が発出され、農業国には増産を、先進国には政府開発援助 (ODA) の拡大を求めたことは記憶に新しい。総合科学技術会議は「科学技術外交の強化に向けて」(2008 年 5 月) の中でアジア・アフリカの科学技術外交を推進することを政府に意見具申している。具体的には「我が国が主導して、開発途上国の研究ポテンシャルも活用しつつ、ODA 等を活用した共同研究の拡充等により、開発途上国の人材育成とその課題対処能力の向上を図る」、また科学技術

面では「我が国の優れた科学技術を活用し、アフリカ等の開発途上国における水や食料問題等に対する取組みを実施する」と明記されている。

### 持続的食料生産のためのイノベーション

「情報通信」を農業に高度利用することは食料生産の安定化を図る上で多大な効果が期待される<sup>1)</sup>。安全な食を安定供給するためには、生物生産環境のモニタリングと解析を通して最適に管理・制御する必要がある。適切な意志決定を実現するには生産環境情報を取得して分析・考察することが不可欠である。また一方、全球レベルのマクロな生物生産の観点に立つて持続性を実現するためにも、各地域において長期モニタリングを行い、基礎的データの蓄積や管理が必須である。すなわち、今後の食料生産の技術展開はモニタリングした結果に基づいて複雑系をモデリングし、最適化できる方法論の確立にある。また、この場合の目的は単なる収量などの生産性だけでなく、環境の保全や食の安全性も重要な評価軸となり、時空間を対象とするフィールドインフォマティクスの展開に期待がかかる。具体的にはセンサネットワーク、リモートセンシングなどによるセンシング技術や多次元フィールド情報の相互関係の解析を進め、これを基にした生物の新たな生理生態学的特性と環境適性を考慮した食料生産理論を創出することにある。フィールドから収集される多様で膨大なデータを管理・統合し、空間・時間・内容に応じて適切に組織化し、その先は一般化した知識ベースの構築、広義には園芸・作物の技術形成を達成することに他ならない<sup>3)</sup>。このような研究がどのような具体技術となり、効果を発揮するかを「植物工場」と「土地利用型農業」の2種類の食料生産システムを例に解説したい。

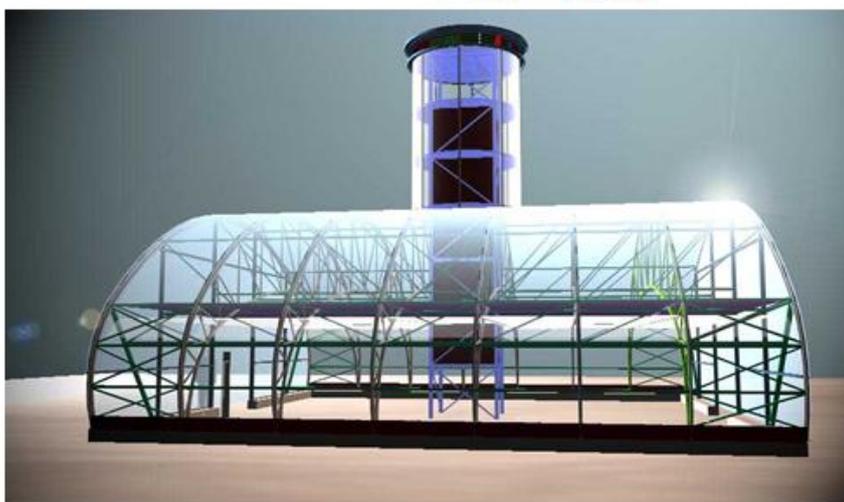
### 植物工場

植物工場は昨今日本政府が進める農商工連携のシンボリックな事業の一つとして期待されている生物生産技術である。農産物を計画的かつ安定的に生産・供給できる植物工場は地域の産業振興の観点からも注目されている。植物工場が計画的な生産と1年間に繰り返し栽培できる高い生産性を実現できるのみならず、①生産物の高品質化が可能、②生産物の安全性

の確保、③生産場所を選ばない、④多業種からの参入が可能、⑤高齢者・障害者の雇用の受け皿になるなど、地域の産業育成、地域再生に有効な技術とみなされている。

植物工場は大別すると「人工光利用型」と「太陽光利用型」がある。「人工光利用型」は密閉された室内で人工光だけで植物を栽培するもので、生育環境条件を完全に制御できるので工業製品のように植物を育てることができ、対象となる系の複雑度が低いことから生産の最適化が比較的容易に実現できる。一方、「太陽光利用型」は自然エネルギーや水資源を効率的に利用できるような生産システムに展開できることが特徴である。図1はドイツのベルリン工科大学で研究されている太陽光利用型の植物工場である。Watergyプロジェクトと呼ばれ、植物群落から蒸散する水を回収して再利用し、さらに蒸散水の潜熱を熱交換器によって回収して夜間の暖房に利用するアイデアである。水資源と暖房用石油エネルギーの節減を図ったユニークな植物工場である。ただ一方、太陽光利用型は、外界の気象条件の変動によって、栽培環境とともに生育状態も変動する。

watergy 



中央のタワーに熱交換器が設置され、日中は植物体から蒸散した水を凝縮・回収するとともに、蓄熱も行い夜間の暖房に使用する。

図1 水資源と暖房用石油エネルギーを節減した植物工場  
(独ベルリン工科大学)

この栽培環境と生育状態の変動は、太陽光を利用している以上不可避である<sup>2)</sup>。すなわち、省エネルギーなシステムである一方、地域固有の気象資源を有効に活用して最適な環境制御を行わなければ生産性を向上させることは難しい。このような地域の自然環境を把握したうえで植物工場内環境を制御することが要求される太陽光利用型は、いまだ高い技術を有した人間のオペレーションが必要である。このような現場創造型技術を有する人のことを最近農林水産省では「農業技術の匠」と呼んでいるが、この匠の技術は長い年数に培われた経験に基づくものであることが厄介であり、工業化・産業化に発展させるうえで大きな障害となる。すなわち、太陽光利用型植物工場による食料生産を工業化・産業化するためには人間の栽培技術（暗黙知を含む）を可視化することがポイントとなる。要するに非接触なセンシング技術によって植物生体の状態を検出して、検出データに基づいて最適な環境状態を探していくことが要求される。この考え方は橋本 康先生が提唱されたSpeaking Plant Approach(SPA)<sup>3)</sup>として世界的にもよく知られている。センシングとそのデータベースから「知恵」、「知識」を抽出して知識ベースに展開することが、まさに知の可視化であり植物工場のインテリジェント制御に直結する。

### 土地利用型農業

太陽光利用型植物工場で示した技術形成（知の可視化）の重要性はスケールが大きくなった土地利用型農業にも当てはまり、問題解決に向けた戦略も概ねそのまま適用できる。要するに、自然環境下の複雑系を適切に制御するためには、その系をタイムリーにモニタリング・モデリングすることに尽きる。従来の農業生産は農村レベルから圃場レベルまであらゆる階層で、生物生産の本質的な特性である不確定性・不確実性のリスクを過度な灌漑や農薬・化学肥料など資材の過剰投入によって回避してきた。その結果、灌漑では河川の断流や農地の塩害ひいては砂漠化を、農薬・化学肥料では農地残留、河川への流出を引き起こし、地域環境に与える影響が顕在化した<sup>4)</sup>。この問題を科学的に解決するためには、土壌や植生などの空間変動を考量して、小空間毎に適切に管理する必要があり、この実現にはきめ細かなフィールドのセンシングが要求される。灌漑もそうであるが、

農薬、化学肥料などの適期・最適投入を決定するには、土壌・植生・気象などの時空間情報を考量する必要があるのはいうまでもなく、この適切な意志決定には、前述の太陽光利用型植物工場と同じく作物生体と生育環境の情報化とその高度な利活用、すなわち時空間のデータベースから創出された知識ベースが不可欠となる。

この知識ベースによる知の可視化は、食料生産基盤が脆弱な日本農業に対しても多大な効果をもたらす。我が国の2005年の販売農家数は196万戸、このうち担い手として期待される主業農家は、43万戸となっており、毎年4～5%の減少が続いている。加えて、農村地域では、若年層の流出により、過疎化が進むとともに2004年の基幹的農業従事者の平均年齢は63歳で、社会全体に先行して高齢化が進行し、労働力不足は深刻な状況にある。すなわち、今日の日本農業は農業従事者の漸減によって、農業に

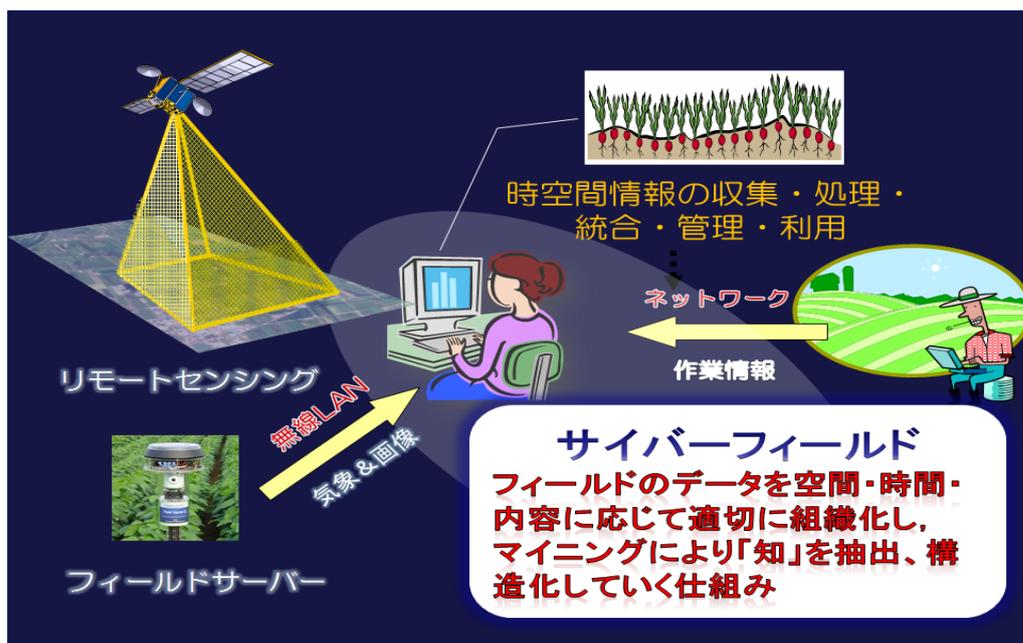


図2 サイバーフィールドによる知の統合

関わる知と技術の消失が起こっており、農業に関わる知の可視化は、日本農業を持続的に維持・発展させる上で不可欠なのである。ただし、土地利用型農業の場合、その複雑度は植物工場と比較して格段に大きいことは言うまでもない。解決に向けた取り組みとして、フィールドサーバーによるセンサネットワーク、リモートセンシングなどを組み合わせて多様で

膨大なデータを空間・時間・内容に応じて組織化し、最適化理論などを適用することで農業生産の「知識・知恵」を自動抽出・構造化できる仕組み（サイバーフィールド）の構築である（図2）。いわば、地域農業の活性化に資する「匠の技術」をサイエンスに基づいて生成できる方法の確立である。しかし実際の問題解決は簡単ではない。このような問題意識から生まれた研究は、たとえばドイツが2008年10月から4年間1億ユーロ（約130億円）の研究費のもと推し進めている。農業における知の構造化を目的としたI-Greenと命名されたプロジェクトであるが、ドイツの人工知能研究所が中心となり、農業関連の試験研究機関、企業、農業団体など16機関とコンソーシアムを構成して研究を進めている。この研究は担い手が高齢化、漸減している日本で今必要であるが、食料自給率が84%のドイツにおいて精力的に研究されていることは興味深い。つまり、このドイツの研究動機は今から20～30年後の農業従事者の減少を見込んだところにある。率直なところ我が国の科学技術政策の戦略性と大きな隔たりを感じざるを得ない。

## おわりに

近代農学は要素還元的な思考方法を基盤とし、専門分化を発展とみなして展開してきた。しかし、この体制では世界的な規模の食料問題を解決するためには不十分と言わざるを得ない。今後は細分化した専門知を統合して「設計科学」に高揚する必要がある<sup>5)</sup>。すなわち知の構造化とシステム化である。冒頭述べたように食料問題は地球共同体に対して一括解決できる方法がないことは自明である。地域のもつ固有性や多様性を十分認知・考量して地域に最適なシステムを導入することが不可欠である。

私個人は最近米国への出張回数よりも中国の方が多い。周知の通り中国の経済成長は著しく、また国家として科学技術にかかる投資額も急増している。また、時差は1時間で渡航時間が短いことも共同研究を進める上で魅力である。中国・韓国などの主要作物は日本と同じであり技術ニーズも近い。我々の研究は当然「ニーズ」が研究のモチベーションであり原動力となる。さらに我々の研究成果は実社会に実装されたときに、大きな役割

を果たす。日本そして世界を取り巻く農業・食料に関わる問題は枚挙にいとまがない。また、一般に農業・食料問題は科学技術だけで解決できない場合も多いが、我々が「できること」と「しなければならないこと」を正視して今後も研究・教育に取り組んで行きたい。

## 引用文献

- 1) 日本学術会議農業情報システム学分科会：I T・ロボット技術による持続可能な食料生産システムのあり方、第 20 期日本学術会議提言、2008.
- 2) 仁科弘重:地域拠点型“知能的太陽光植物工場”の進展、日本学術会議公開シンポジウム「知能的太陽光植物工場」講演要旨集、2009.
- 3) 野口 伸、橋本 康：知能的太陽光植物工場の新展開[1]、農業および園芸 85(1)、2010.
- 4) 野口 伸：空間情報を基軸とした環境保全・省エネルギー農業技術、日本学術振興会学術月報、2008.
- 5) 日本学術会議農学教育分科会：農学と農学教育のあり方、第 20 期日本学術会議対外報告、2008.