

フードプロセスの現在と未来

橋本 篤

1. 食を取り巻く現状

「衣食住」は我々の生活において不可欠であり、特に「食べる」という行為は最も根源的な欲求の1つと言える。超高齢化や生活様式の変化などの社会現象により、食の多様化が進んでいる。また、生産、貯蔵、加工、流通、販売、消費の各ステージにおける安全率を高めるため、食品の大量廃棄、いわゆるフードロスも深刻な問題となっている。一方、加工食品の多くは、農産物などの一次産物を原材料として生産されているが、食・農に関わる専門分野が縦割り、境界領域を含め、それらの分野を俯瞰的且つ横断的に扱うことができる研究者・技術者が極めて少ないというのが現状である。日本においても、食を俯瞰する大学組織どころか、食品加工プロセスを対象とした組織がほとんど存在せず、関連分野の人材育成が進んでいない。

欧州連合(EU)の「欧州グリーンディール(European Green Deal)」の取り組みは、EUからの温室効果ガスの排出を実質ゼロにすると共に、経済や生産・消費活動を地球と調和させ、人々のために機能させることで温室効果ガス排出量の削減に努める一方、雇用創出とイノベーションの促進を目指している¹⁾。その中で、2020年5月に「Farm to Fork(農場から食卓まで)」戦略を公表し、欧州の持続可能な食料システムへの包括的なアプローチを示している²⁾。また、米国農務省は、2020年2月にアジェンダを公表し、2050年までの農業生産量の40%増加と環境フットプリント50%削減の同時達成を目標に掲げ、食品ロスと食品廃棄物の削減、土壌健全性の強化、農業部門におけるカーボンフットプリントの純減などの数値目標を設定した³⁾。このような世界的な流れにおいて、日本の農林水産省が2021年5月に「みど

りの食料システム戦略～食料・農林水産産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現～」を発表し、生産から消費までサプライチェーンの各段階において、新たな技術体系の確立と更なるイノベーションの創造により食料の安定供給・農林水産産業の持続的発展と地球環境の両立の実現を目指している⁴⁾。更に、SDGs(Sustainable Development Goals, 持続可能な開発目標)⁵⁾の概念は必要不可欠となっている。このように、「食」の分野においても多面的な意味で「持続性(sustainability)」が極めて重要なキーワードとなっており、「食」を多面的に理解することが求められている。

一方、新型コロナウイルス感染拡大によるパンデミックに起因する2020年のロックダウン中、栽培現場における就労者が不足し、トラック等の交通量は通常よりも大幅に削減されたが、食料生産を継続する必要性があり、フードサプライチェーンと関連産業の重要性が改めて認識された。また、食品のロジスティクスと食品保蔵がサプライチェーンにおいて非常に重要であることを再認識する機会となった。

2022年10月31日～11月3日にIUFOST 2022(21st World Congress of Food Science & Technology)⁶⁾がシンガポールにおいて開催された。この会議は、食品全般を網羅した大変幅広い分野の国際会議であり、パンデミック後初めての食品に関する対面での大規模な国際会議であった。IUFOST 2022のテーマは“Future of Food: Innovation, Sustainability & Health”であり、Sustainable Food ProductionとPersonalized Foodsに関して盛んな議論が交わされ、そこにデータサイエンスが絡むという点が特徴的であった。また、食品に関する工学的な分野の国際会議としては、ICEF 14(14th of International Congress on Engineering and Food)⁷⁾が2023年6月19～23日にナント(フランス)で開催される。ICEFはInternational Association for Engineering and Food(IAEF)が開催母体であり、AIChEなど化学工学関係の学協会もその構成団体となっている。ICEF 14のテーマは“Sustainable Food Manufacturing for a Resilient Food Chain”であり、人間の栄養と健康を確保し、環境の持続可能性をサポートする上でのエンジニアの重要な役割について議論することが期待されている。これら2つの食品に関する代表的な国際会議の性質は異なるものの、現在の社会的背景を考慮した食料・食品生



Present and Future of Food Process
Atsushi HASHIMOTO (正会員)
1992年 東京農工大学大学院工学研究科博士課程修了
現 在 三重大学大学院生物資源学研究科教授
連絡先: 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町1577
E-mail hasimoto@bio.mie-u.ac.jp

2023年4月27日受理

産における「持続性 (sustainability)」に重点をおいているという共通点がある。また、その概念の中には、フードサプライチェーンの重要性とそれに寄与するデータサイエンスの必要性が含まれているものと考えられる。このように、食を取り巻く現状を理解し、その展開を図るためには益々多面的な視点が必要になっているものと言える。

2. 農業が牽引するスマートフードシステムへの展開

近年、食料・食品生産をフードシステム (Food System)^{8,9)}の一部として捉える考え方が一般化されつつある。フードシステムという用語には、栄養、食品、健康、コミュニティ開発、および農業に影響を与える相互接続されたシステムとプロセスを表し、食料の供給に関連する全てのプロセスとインフラストラクチャが含まれる。また、フードシステムは、農林水産業と食品産業に由来するサブシステム (食品の生産、集約、加工、流通、消費、フードロス・廃棄物) に関わる人々とそれらが相互に連携した付加価値を持つ活動全般、およびそれらが組み込まれているより広範な経済・社会・自然環境を意味することがある (図1)。いずれの意味においても、フードシステムは、食だけではなく、食を取り巻く環境や社会システムおよび関連する人々を包括する大変幅広い概念と言える。

デジタル社会が高度に発達した先進国においては、このようなフードシステムにサイバーフィジカルシステム (CPS: Cyber Physical System)^{10,11)}を組み込んだ「データ駆動型スマートフードシステム」の研究がおこなわれている¹²⁾。スマートフードシステムでは、情報通信技術 (ICT: Information and Communication Technology) などの先端技術を最大限に活用した新しい農業 (Smart Agriculture) で栽培された農産物を加工、流通させると共に、栽培管理情報と品質情報を消費者に届ける。また、購入した農産物に対する消費者の感想や

意見を流通業者や加工業者、生産者にフィードバックすることとなる。このスマートフードシステムは、生産体制や加工方法、流通体制の改善が期待できるマーケットイン型のシステムであるため、消費者心理分析やデジタルマーケティングが重要な位置を占めることとなる。また、フードシステムでは全てのサブシステムで現実要素が支配的なため、仮想 (Cyber) 空間と現実 (Physical) の両方のシステムの進化とバランスが求められ、IoT (Internet of Things) 社会への移行が重要となる。

このようなデータ駆動型フードシステムへの展開は食品の原材料生産に関わる農業や水産業、食品加工、流通等の様々なセクターにおいて盛んに進められているが、会社や地域単位などの比較的小さな範囲を対象とし、フードシステムの各セクターでの展開に限られていることがほとんどである。農業は比較的早い時期からスマート化が検討されており、食料生産の起点となるセクターであることから、スマートフードシステムへの展開において重要な役割を果たしているものと考えられる。

EUでは2011年から5年計画のFI-PPP (the Future Internet Public-PrivatePartnership) プログラムが実施され、農業分野ではいくつかのプロジェクトを経てFlspace (2013~2015年) が実施された。この流れの中で、農業機械が中心だった精密農業 (PA: Precision Agriculture) のコンセプトが農産物の生産者がインターネットを介して直接消費者と繋がる、ICTとフードシステムを意識したマーケットイン型のスマート農業へと移行した¹³⁾。日本では、欧米の精密農業の考え方を取り入れる一方で、1996年に「農林水産業における高度情報システム開発に関する調査委員会」でFS (調査研究) がおこなわれ、引き続き「増殖情報ベースによる生産支援システム開発のための基盤研究」(1997~2000年)、「データベースモデル協調システム」(2001~2005年) が実施され、農業現場でのICT活用の有効性が確認された。また、スマート農業の推進によるSociety5.0の実現を目指しSIP事業 (第1期: 2014~2018年、第2期: 2018~2022年) が実施され¹⁴⁾、農業に関わるデータを集約しデータの連携・共有を可能とする農業データ連携基盤 (WAGRI) が構築されている¹⁵⁾。更に、WAGRIに続く情報連携基盤としてスマートフードチェーンプラットフォーム「ukabis」を構築し、スマートフードシステムの実現を目指している¹⁶⁾。

3. スマートフードシステムにおけるフードプロセス

フードプロセスにおいても持続可能性の概念が益々重要視されると共に、IoTやAI技術などの進歩により自動化やデジタル化がさらに進むことは容易に予想される。また、

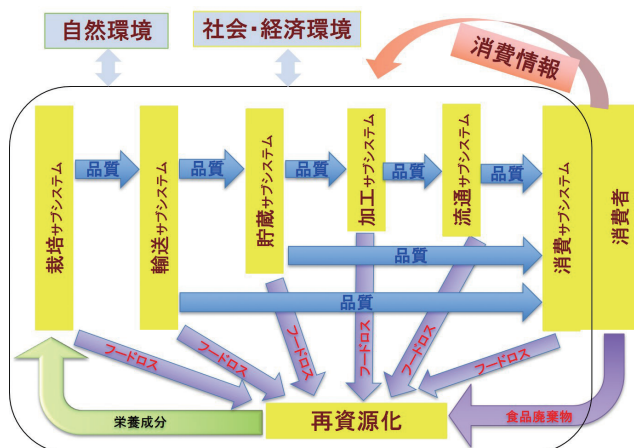


図1 フードシステムの構成要素とその関係性の一例

消費者の健康に対する関心が強く、機能性食品の需要増加に対応するための技術や、植物由来の食品や代替タンパク質を利用した食品加工技術の進歩が求められるものと考えられる。更に、食品の安全性に対する懸念が高まっており、無菌・殺菌技術が益々重要になってくる。一方、フードプロセスは、幅広い分野を包括するフードシステムにおいて食品原料生産と消費者の中間に位置し、スマートフードプロセスでの中心的な役割を果たすサブシステムであり、様々なスマートシステムとの連携が期待される分野と考えられる。

このような展望において、フードプロセスを核としデータ駆動型スマートフードシステムを想定すると、フードシステムにおけるサブシステム間の品質情報流れにおいて、マーケットインに対応するための消費者情報の扱い方が課題になるものと考えられる。そのためには、IoTやAI技術などの利用が不可欠となる。例えば、フードプロセスの代表的な単位操作である食品加熱においては、伝熱理論と関連する物性値を用い、加熱過程を解析するのが一般的であるが、食品の場合はその材料の不均一性と加熱過程の複雑さ、更には材料特性のばらつきなど、解析が極めて困難な場合が多い。近年、このような複雑な現象の理解に対して、従来の物理モデルに基づく解析的手法から、物理モデルに基づいたデジタルツインモデル等の仮想的な情報セットを用いる手法が提案されており^{17, 18)}、今後同様な展開が増えるものと考えられる。また、データ生成技術の数理として拡散モデルが注目されており、化学工学を基礎としたフードプロセスへの展開が期待される。

一方、食品加工原料となる農作物等の遺伝子の読み解きが高速化し、食品加工プロセスにおいて必要となる農作物等の品質情報と関連づけた高速の表現型計測が益々重要になっている¹⁹⁾。また、食品の多機能化が強く求められる傾向にあり、フードミクス (Foodomics)²⁰⁾ に基づいた視点が必要となっている。ところで、フードプロセスなどフードシステムの現場現場では、「食べ物」を取り扱うため、その現場計測においては、ケミカルフリーな手法を導入することは必要不可欠である。また、現場計測においては、高度なテクニックや専門的な知識を必要とせず、迅速且つ簡易な計測手法であると共に、ICTとの親和性が重要となる。このようなデータ駆動型スマートフードシステムにおいては生体情報や食

品の品質情報の測定と伝達が重要である。光センシング技術はこれまでも品質評価やモニタリングなどへの展開が盛んに検討されてきたが、データ駆動型スマートフードシステムにおいては、原材料生産からフードプロセス、消費者など、フードシステム全体を結ぶ有効な手段^{21, 22)}と考えられる。

以上のように、データ駆動型のスマートフードシステムにおけるフードプロセスでは、IoTやAI技術などの利活用とそれを支える品質情報取得手段としての光センシング技術が重要となるが、フードプロセスにおける単位操作とそれらを有機的に結びつけることの重要性は変わらないものと考えられる。また、農業などの食品の原材料生産プロセスでは、情報化が進んでいるもののそのプロセスの体系化がフードプロセスに比べて遅れている。この部分に化学工学的な手法を取り入れることもスマートフードプロセスの展開においては重要になると思われる。このように、単位操作とプロセス、およびその最適化といった化学工学的な手法と情報技術とのリンクが必要となる。そのためには、フードプロセスを核として農業等の一次産業から調理科学までの情報流れを理解でき、且つフードシステムを俯瞰できる人材育成が求められる。

参考文献

- 1) 駐日欧州連合代表部：欧州グリーンディール, https://www.ecas.europa.eu/delegations/japan/欧州グリーンディール_ja
- 2) 駐日欧州連合代表部：農場から食卓まで, https://www.ecas.europa.eu/sites/default/files/jp-from_farm_to_fork.pdf
- 3) U. S. Department of Agriculture : Agriculture Innovation Agenda, <https://www.usda.gov/aia>
- 4) 農林水産省：みどりの食料システム戦略, <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/>
- 5) 日本ユニセフ協会：SDGsって何だろう？, <https://www.unicef.or.jp/kodomo/sdgs/about/>
- 6) IUFOST2021 : 21st IUFOST World Congress, <https://iufostworldcongress-singapore.com/home>
- 7) IAEF- International Association For Engineering And Food : ICEF14, <https://icef14.com/>
- 8) European Commission : Food Systems - Definition, Concepts and Application for the UN Food Systems Summit, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/food-systems-%E2%80%93-definition-concepts-application-un-food-systems-summit_en
- 9) Food and Agriculture Organization of the United Nations: Sustainable food systems, <https://www.fao.org/3/ca2079en/CA2079EN.pdf>
- 10) Park, K. -J. *et al.* : *Compt. Commun.*, **36**, 1-7 (2012)
- 11) Rai, R. and C. K. Shau : *IEEE Access*, **8**, 71050-71073 (2022)
- 12) Brewster, C. *et al.* : *IEEE Commun. Mag.*, **55**(9), 26-33 (2017)
- 13) 農業情報学会編：新スマート農業, pp.432-433, 農林統計出版 (2019)
- 14) 生物系特定産業技術研究支援センター：戦略的イノベーション創造プログラム (SIP), <https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/sip/index.html>
- 15) WAGRI : <https://wagri.net/ja-jp/>
- 16) ukabis : <https://www.ukabis.com/reports/category/action/>
- 17) Rosen, R. *et al.* : *IFAC-PapersOnLine*, **48**(3), 567-572 (2015)
- 18) Kannapinn, M. *et al.* : *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, **81**, 103143 (2022)
- 19) Houle, D. *et al.* : *Nat. Rev. Genet.*, **11**(12), 855-866 (2010)
- 20) Cifuentes, A. : *J. Chromatogr. A*, **1216**(43), 7109 (2009)
- 21) Kameoka, T and A. Hashimoto : *IEICE Trans. Commun.*, **E98-B**(9), 1741-1748 (2015)
- 22) 橋本篤：日食工誌, **23**(4), 115-130 (2022)