

**東京大学アンビエント社会基盤研究会
農林環境ワーキンググループ成果報告書**

目次

第一章	農業×ICT	東京大学	7
	アンビエント農業と社会		8
	農業×ICT		11
	ビッグデータが支えるアンビエント農業		14
	農業クラウド		17
	アンビエント農業が拓く社会		19
第二章	アンビエント農業の姿（将来の「人の営みと農」をデザイン）		23
第一節	農業×健康管理	住友電気工業株式会社	24
第二節	農業×健康、安心・安全	富士フイルム株式会社	32
第三節	農業×リサイクル	住友電気工業株式会社	42

第四節	農業×エネルギー	東京大学	54
第五節	農業×未来予測	住友電気工業株式会社	64
第六節	農業×地域	東京大学	82
第三章	アンビエント農業を支える基盤		93
第一節	農業×センサー	日本電気株式会社	94
第二節	農業×プラットフォーム	エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社	110

第一章 農業×ICT

農業×ICT

東京大学

アンビエント農業と社会

昨年、世界の人口が七〇億人に達したことは記憶に新しい。国連の世界人口推計二〇一〇年版によると、今後、出生率中位の推計で二〇五〇年に九三億人、二一世紀末までには百億人以上になるとされる。また、出生率高位の推計では、二〇五〇年に百六億人、二一世紀末までに百五十億人になる。

この世界の人口増加は、二〇五〇年まではアジア・アフリカが、その後はアフリカが牽引する。人口推計をどのようにみるか、また、食生活の変化をどのようにみるかによっても異なるが、世界の人口増加を上回る食料増産が今後必要となる。さらに、食料だけでなく、農作物の飼料や衣料、エネルギーなどの供給源としての利用の拡大も予想される。

一方、日本では、国立社会保障・人口問題研究所の推計によると、二〇一〇年に約一二八百万人であった人口が五〇年後の二〇六〇年には約三分の二に減少し、生産年齢人口（一五～六四歳）は約八二百万人から約四六％減の四千四百万人になり、高齢化が急速に進む。今後の人口政策にもよるが、農村地域では、これまで以上に人口減少と高齢化が加速し、限界集落、さらには廃村を余儀なくされるところが増える。また、都市が拡大し、優良農地が縮小してきたこれまでと異なり、人口減少による都市の空洞化・スラム化を防ぐためにも、都市の円滑な縮小と高効率・高機能化、及び農業生産地域の円滑な拡大が求められる。さらに、農業の産業としての再構築と都市と農村との有機的な結合が必要となる。

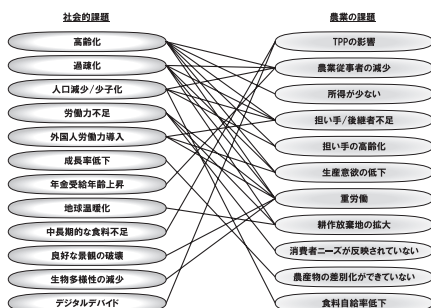
このような状況において、情報通信技術（ICT）を中核とし、都市と農村を有機的に結合し、地域のエネルギー・資源循環化、農業の六次産業化・農商工連携、医食農連携などにより地域社会の活性化を図ることが重要である。そして、国際競争力があり、かつ人と環境が調和したアンビエント農業社会システムの構築を目指す

す必要がある。

前述したように、世界的には、今後、人口の増加と生活質の向上、農作物の資源・エネルギー利用などにより、農業や食料産業は成長産業として位置づけられる。しかしながら、無計画な農地の拡大は、地域の環境を破壊し、地球環境を悪化させる。日本が先行している都市の拡大と農村の疲弊、さらに、今後訪れる人口減少や高齢化に伴う諸問題への緩和・適応策は、世界の多くの国が将来、同様の問題に対応せざるを得ない状況を考えれば、先駆的な取り組みとしての価値がある。このことは、農業や食料産業としての日

将来社会像実現への社会的課題と農林環境WGの役割

- 「社会的課題」と「農業の課題」は密接に関係している。
- 各産業界においてこれら社会的課題を乗り越えるために、様々なイノベーション・手法等を講じている。それらの工夫を農業関連に適用する。



本の国際競争力の強化だけでなく、世界規模でのアンビエント農業社会システムとしてのインフラ市場の創成、輸出などにも貢献する可能性がある。

農業×ICT

世界の農作物の増産は、農地の拡大や灌漑インフラの拡充、バイオ育種や栽培、機械化などの農業技術の改良によってもたらされるが、温室効果ガス放出（温暖化）や森林破壊、砂漠化、生態系・生物多様性喪失などの地球環境問題を引き起こし、サステナビリティの観点からも大きな懸念がある。

例えば、中央アジアのアラル海の縮小にみられるように、過度の農地開発は、水資源の枯渇や土壌荒廃をもたらす。焼き畑や、森林伐採、熱帯泥炭地の耕地化などは、二酸化炭素の吸収源を消滅させ、逆に大気への放出源にさせる。窒素施肥は、二酸化炭素の三一〇倍の温暖化効果がある亜酸化窒素を発生させ、また、水田は

二・三倍の温暖化効果があるメタンの発生源となる。これらのガスは家畜からも放出される。バイオマスエネルギーも、場合によっては必ずしも完全な再生可能エネルギーとはいえないかも知れない。

投入エネルギーに対する生み出すエネルギーの比であるエネルギー収支比（EPR）でみると、バイオエタノールへの転換など、利便性のよいものに変換するために、現状では、大凡、トウモロコシで一・三、食料イネで一を切るといわれている。また、所得の増加による生活質の向上は、穀物を中心とした食生活から肉類の消費を増大させる。肉類の生産には、穀物生産に比べて、数倍から十数倍程度の耕地と水資源を必要とする。

植物工場などの施設農業は、一般にエネルギー多消費型の生産方式であり、石油価格の上昇により生産活動そのものに影響がでており、省エネ、さらには再生可能エネルギーや他の地域エネルギーインフラとの効率的融合が必要とされる。また、生産国の偏在は食料自給率を低下させ安全保障の問題を引き起こす。さらに、生産

地の分散と流通が、輸送や冷凍保存などを介して膨大なエネルギー消費を促し、環境に負荷を与える。これらの問題解決のためには、個別の技術開発に加えて、センシングと情報インフラの統合によるシステムの管理と最適化が不可欠である。

食の安全・安心に関連した生産現場から流通、消費段階に至るトレーサビリティシステムの構築や各々の段階における適正規範（GXP…X）には、農業A、製造M、流通D、小売R）の導入、さらに、適正な農薬や肥料管理、生産物の品質管理、自動化、省力化を目的とした営農管理、農地管理などは、個別要素と俯瞰的なシステムの両面から、情報として生産、流通、消費をとらえるものであり、センシングとICTの導入効果が大きい。また、最近注目されている健康食品に関する情報や植物ワクチン、ドクターズキッチンなどはICTによる管理が不可欠である。このように、農業分野へのICT導入により、新たなビジネスモデルの創出が期待できる。

現在、長年の歴史に支えられた日本の農業活動は、高齢化と後継者不足により危機に瀕しているが、持続的な生産活動を支える知恵をもっている。ICTによるア

ンビエント農業イノベーションにより、この知恵を後世に伝え、サステイナブル社会実現に貢献することが必要である。

ビックデータが支えるアンビエント農業

生産、流通、販売、消費のサプライチェーンにおいては、膨大なデータが生成されている。環境データ（気温、湿度、二酸化炭素濃度、光強度、光質、日長、培地温度、培養液温度・濃度・組成・pH、給液頻度など）、エネルギー管理データ（エネルギー消費量、空調制御データなど）、生育データ（品質、熟度・糖度、樹勢、病虫害など）、収量・出荷量データ、労務管理データ（収穫等の作業時間や作業量など）、物流データ（輸送経路、保管時間、積み下ろし回数など）、市場価格データ、販売時点情報管理（POS）データ、フードログデータ、健康データ等、膨大なデータが生成されている。

すなわち、農業も「ビッグデータ」である。ビッグデータとは、巨大なデータを、高度なデータマイニングによって分析し、その結果を活用することをいう。情報業界では、ソーシャルメディアデータ、マルチメディアデータ、オフィスデータ、顧客データ、オペレーションデータ、ウェブデータ、ログデータ、センサデータなどの膨大なデータを蓄積し、ビジネスの高度化につなげる動きが盛んである。

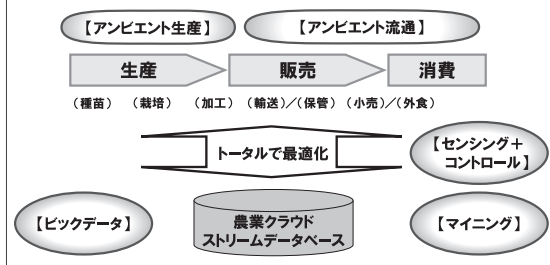
ビッグデータの活用は、グローバルやフェースブックといったネット企業においては、企業競争力の源泉である。どれ

アンビエント農業(アンビエントフードチェーン)

■ 多種多様のセンサデバイスからのストリームデータを収集し利活用することで、農業、都市、環境、流通、資源、医療等の生産性を高め、新サービス創出に資するプラットフォーム

■ 農業関連における生産・流通・販売・消費に関わる人々の豊かな生活を創出

『生産から販売、消費までをICTで最適化した農業』



だけデータを集めているかが競争力の源であり、収集したデータに群がる形で多くのサードパーティ事業者が集まっている。すなわち、データ自体がプラットフォームであるとも言える。

ビッグデータのユニークな活用事例として、株式会社小松製作所のKOMTRA Xを挙げることができる。自社の建機に通信モジュールを内蔵し、世界各地の建機の稼働状況を遠隔監視するシステムである。収集したデータを用いれば、保守管理、車両管理、省エネ運転支援などが可能となる。しかしながら、これらのデータの凄みは、どこの国で、どれだけの時間、建機が稼働しているのかが分かるため、世界の景気動向をも垣間見ることができる点にある。世界の景気実態をほぼリアルタイムで映すため、世界の株価の動きと符号する部分が多いとも言われている。

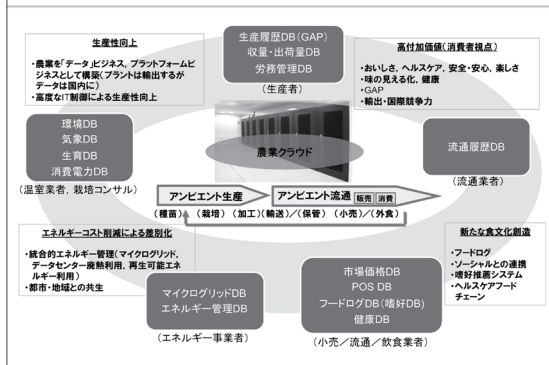
生産、流通、販売、消費といったサプライチェーンにおいて生成される膨大なデータをデータベースに蓄積することで、高度なIT制御に基づく生産性向上、統合的エネルギー管理によるコスト削減、安全・安心や品質などの高付加価値化、ソーシャ

農業クラウド

ルとの連携などによる新たな食文化の創造などに資することが期待できる。データを核とした農業がアンビエント農業である。

収集した膨大なデータをクラウドに蓄積する農業クラウドは、農業の新たな形態の一つである。データの活用により、栽培管理、労働管理、収量管理、収量予測、市場価格とバランスをとった環境管理、効率的なエネルギー利用も可能となる。また、匠の知識がない若者であっても、作業項目別の必要時間や収量を集計でき、

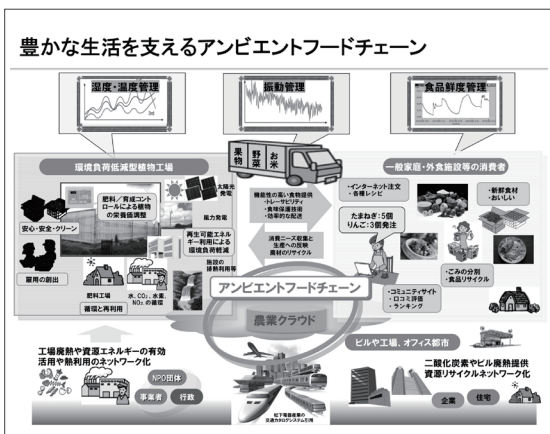
農業× ストリームデータDB



生産効率を向上させる手法を考えることができ、農業への参入も容易になる。

経済産業省が二〇一〇年に策定した「産業構造ビジョン二〇一〇」には「インフラ関連／インフラ輸出」が挙げられているが、農業クラウドも原子力発電、新幹線、水処理装置等とならんでパッケージ化して海外、特に新興国に売り込むインフラ技術となり得る。

温室を農業共生型スマートシティの中に位置づけて世界展開し、そこから生成されるデータを農業クラウドに蓄積する。生産管理、流通管理、エネルギー管理等を気象条件を含む地域の特性に応じて適切に実行する点が差別



化ポイントとなる。

品質管理された安心な農作物への要求や、エコな農業共生型スマートシティへの期待は、どの国においても強い。農業クラウドをパッケージとして世界展開する新しい産業の創出に向けて、まずはデータを着実に集めることから始めなければならない。どれだけの量のデータを集められるかが差別化ポイントとなるため、データを容易に集めることができるスキームもあわせて考える必要がある。

アンビエント農業が拓く社会

アンビエント農業の目的は、多種多様のセンサデバイスからのデータを収集し活用することで農業の生産性を高め新サービス創出に資すること、農業関連における生産・流通・販売・消費に関わる人々の豊かな生活を創出することにある。生産から販売、消費までを情報通信技術で最適化した農業である。

アンビエント農業は、農業の生産性向上のみを目指したものではない。農業が社会に与える影響に鑑み、農業の横型展開を図っていくことに醍醐味がある。

章末にアンビエント農業が実現した社会図を示す。健康管理と組み合わせれば、食生活から未来の健康状態を予測したり、野菜の栽培履歴を健康管理に活かしたりすることが可能となる。未来予測と組み合わせると、未来予測に応じた作物への転換や、長期気象変動を織り込んだ作物への転換なども可能となる。

夢物語と感じられる向きもあるが、農業においても「夢」は必要である。強い思いこそが、新たな世界を切り拓くためである。ヘンリー・フォードは、「客にいくら尋ねても、自動車が欲しいという答えは返ってこない。なぜなら客は馬車しか知らないからだ」と話したという。強い思いとこだわりをもって、アンビエント農業を確立し、魅力あふれる農業の実現に向けて一步を踏み出さなければならぬ。ビッグデータの流れが加速化しつつある今こそが、一步を踏み出す的確な時期である。

アンビエント農業の実現した社会



第二章

アンビエント農業の姿

第一節 農業×健康管理

住友電気工業株式会社

食生活と健康管理

私たちは食生活を通じて健康管理を行っている。例えば、外食が多く野菜が不足気味の人は、家では意識して野菜を多く取るようにしている。また、季節ごとの旬の食材を意識して食している方も多くいるであろう。旬の食材は美味しいだけでなく、その食材が本来持つ栄養価が最も高くなっている時期と言われており、露地ものの旬が四～五月と言われているイチゴは、その時期のビタミンCの含有量が最も高い。実際、成人の一日に必要なビタミンCは約50mgでイチゴ四～五粒で十分まかなえる量と言われている。植物は成長するために養分吸収を行う際、有機物質を分解し、無機物質として吸収している。しかしながら、米や野菜等ではその栽培管理方法は多様化される中、有機物質を堆肥化して土づくりを行う有機栽培（オーガニック栽培）の農産物が健康に良いと考えられており、自分自身の健康管理の観点

からその農産物を購入する人達が年々増加してきている。有機野菜＝安全・安心野菜で、健康を害さない野菜と認識されているケースが多いが、前述のように植物自体吸収している栄養素は無機物質として吸収している。また、農薬については、国内で使用されているものは毒性が低く、食品衛生上問題ないことが確認されている。健康管理に留意して生活するには、どんな栽培管理をした野菜を食べるか（または、食べて来たか）が重要になると言える。

差別化されてきた栽培方法

農産物の栽培方法には土耕栽培、施設栽培等がある。前者の栽培方法には無機化学肥料を一切使用せず、無農薬で栽培する有機栽培がある。一方後者には、屋内でLED等の人工光を使い、屋内の温度等を完全に制御し、土を使わない化学肥料だけで養分を供給する水耕栽培で生産する完全制御型植物工場栽培、もちろん無農薬栽培、がある。両者は対極的な栽培方法であるが、どちらも完全無農薬栽培、特定

の栄養素では他の慣行栽培の農産物に比べて優位性があるとされている(図2-1-1)。

また私たちは毎日の食生活で高齢になっても病気になる元気で居続けたい願望がある。自分なりに色々情報を集めて、自分の健康管理の観点や疾病予防・治療の観点から、自分にあった野菜をはじめとした農産物を入手し食している。例えば、キャベツにはキャベジンと呼ばれるビタミンUが含まれ、胃腸系の疾病予防の効果があるとされている。また、トマトの赤色素であるリコピンには抗酸化作用があり、抗ガン作用や老化予防に効果があるとされている。動物実験等でその効果は明らかにされ

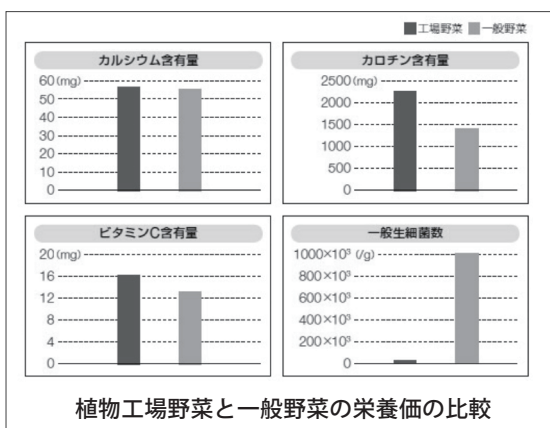


図 2-1-1

ているが、トマトを沢山食べる人のガンのなりにくさや、ましてや、有機栽培のトマトと水耕栽培を比べた場合に、どちらのトマトを食した方が良いのかは、未だよくわかっていない。

生活習慣と健康管理

特定の疾患の発症率と生活習慣の関連性を調べる研究にコホート研究と言うものがある。過去の食生活を調査して、疾病の発症との関連を明らかにする場合を、後ろ向きコホート研究と言う。また、ある集団の現在の生活習慣を調査し、その集団のその後の疾病発症を明らかにする方を前向きコホート研究と言う。過去の生活習慣の調査では、調査できる内容に限度があり、また不確かな部分があるので、前向きコホートの方が信頼性が高いと言える。前向きコホート研究では数年から十年以上もの時間がかかり、その間に対象者の動向をしつかりと把握しなければならない。多くの時間と労力が必要であるが、得られた結果は

我々に重要な示唆を示してくれることが多々ある。国立がん研究センター 津金昌一郎先生の研究では、一三万人を追跡調査し、二〇年間データを収集、ガン発症との因果関係において、喫煙男性は非喫煙男性に比べ一・六倍ガン発症のリスクがあると結論付けている。実際、遺伝的には全く同じ一卵性双生児の場合でも、一方が遺伝子の異常発言によりガンなどを発病することはよく知られている。また、最近では遺伝子の解説・解析技術の飛躍的な進歩により、個人の遺伝子情報も考慮した「ゲノムコホート研究」が進められている。

農産物についても色々な栽培方法が実施され

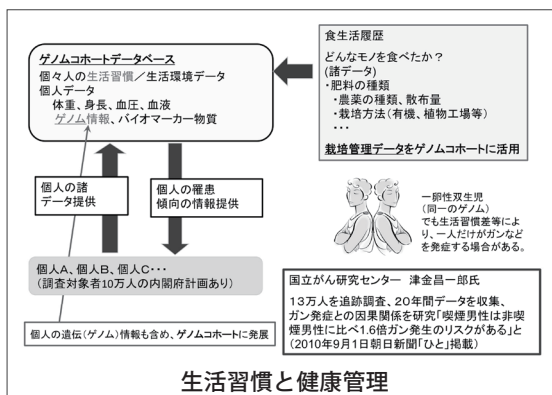


図 2-1-2

ていることを考えると、例えば、有機栽培野菜中心に食している集団と慣行栽培の野菜を中心に食している集団に於いて、何らかの健康の傾向（例えば、冬場風邪をひきにくい、ガンの罹患傾向が小さい等）が明らかになってくると予想される。そう遠くない将来、個人の健康管理を維持する上で、最適な方法で栽培管理されたお勧めの農産物が食卓に上がってくるだろうと考えられる（図2-1-2）。

栽培・流通履歴のデータベース化

農業×健康管理と言う観点で農産物生産、流通・消費を整理した（図2-1-3）。私たちが食べた農産物の栽培履歴（品種、肥料の種類、施肥管理方法、防除

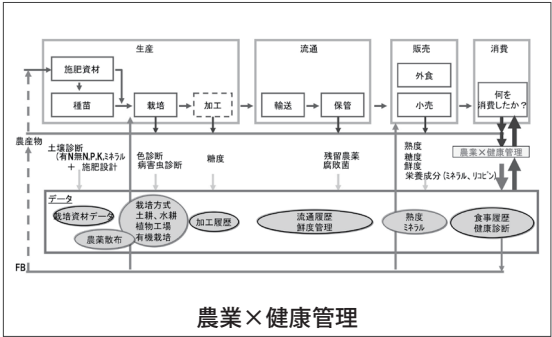
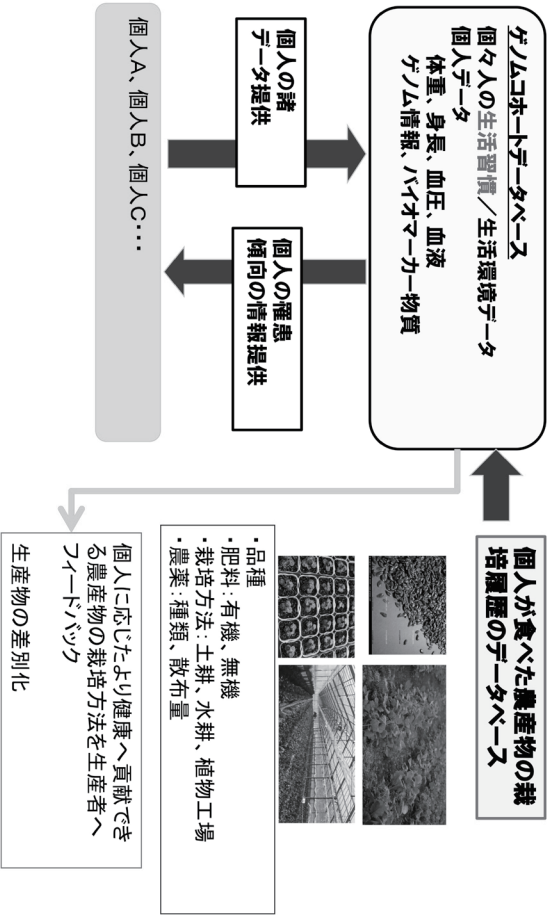


図 2-1-3

履歴等)を体系だつてデータベース化することが出来れば、コホート研究の新たなデータベースとして活用することが出来る(図2-1-4)。農産物の栽培履歴を含めたコホート研究が確立されると、私たちの子々孫々の時代になるかも知れないが、単純に無農薬だから、有機栽培だから、植物工場で作られたからという理由だけで健康に良いと判断する必要はなくなってくるかもしれない。自分の健康管理に適した野菜は肥料の種類はあまり影響が無いケース、適正条件下での農薬散布は問題ないケースとか、が具体的に分かってくると思われる。自分の望む健康状態にあった栽培方法や栽培条件の農産物が手軽に入手できる日もそう遠くないかも知れない。

参考文献

図2-1-1：エスペックミック(『図解よくわかる植物工場』高辻正基)



農産物データとコホート研究

図 2-1-4

第二節 農業×健康、安全・安心 富士フイルム株式会社

本節では、健康、安全・安心の観点でアンビエント農業で何が実現できるかについて考えてみたい。

健康、安全・安心の向上を目指したアンビエント農業の展開

昨今、薬物や化学物質による急性食中毒などの健康被害、微生物や細菌が増えることによる食中毒などの健康被害、生活習慣病などの栄養素の偏りによる健康被害、環境ホルモンなどの影響による健康被害などがメディア上に頻繁に登場し、健康の為の食、安全・安心の為の食への関心が益々高まっている。消費者は、日々食する農作物に関しても不安を感じており、農作物の安全性についてもう少し知りたいと考えているのではないだろうか。

ところが、食の安全と言っても、食の安全に関する食環境は非常に多い。例えば、

自然環境の点からは、土壌、水、大気、環境汚染物質、微生物が関連し、食料供給システムの点からは、栽培、飼育、製造・加工、流通、購買までのサプライチェーン、政策、行政、法体系の点からは、法律、規格・基準、監視、検査、リスク評価などが関係している。消費者がこれら全体像を把握し、安全性を十分理解した上で、最適な農作物を購入していくことは大変難しい。消費者が、食に関する「今だけ、こだけ、私だけ」といった必要情報入手できる仕組みが必要なのではないだろうか。

安全・安心の点からは、化学肥料無使用、無農薬減農薬を謳った有機野菜、植物工場での無菌新鮮を謳った野菜などが販売され、徐々に広まりつつある。但し、施肥で使った肥料に含まれる化合物まで遡って考えた場合、必ずしも安全・安心であるとは限らない。また、健康に良いと考えられるものを食しても、自分が健康になっているのかどうかなかなか判りにくい。どういった健康に良いものを食べたか（インプット）と食べた結果健康度がどう良くなったか（アウトプット）の関係が

不明確な為、効果が実感しづらいのではないだろうか。

こうした状況の中、前述した農業クラウドに蓄積された各種DBを利用していくことは有効であり、農作物に含まれる有効な機能性成分の具体的な摂取（インプット）と食した後の健康度の変化（アウトプット）の関係をより繋げやすくてできる。つまり、購入した農作物はどの様な有効成分を持った機能性野菜か？ それを食べた結果、健康にどの様な効果があったか？ 検診項目について具体的にどう改善されたか？ について消費者自身が簡便に把握することが可能となると考えられる。消費者は、自身の健康状態をチェックしながら、健康、安全・安心への要望に合わせて「今だけ、ここだけ、私だけ」という機能性野菜を最適に選択することが可能となる。

健康、安全・安心ストリームデータとアンビエント農業DB

第一節、第二節で示されたビッグデータ、センサを利用して農業クラウドを構築し、その中で、特に生産、流通、販売、消費のサプライチェーンの各段階で健康、

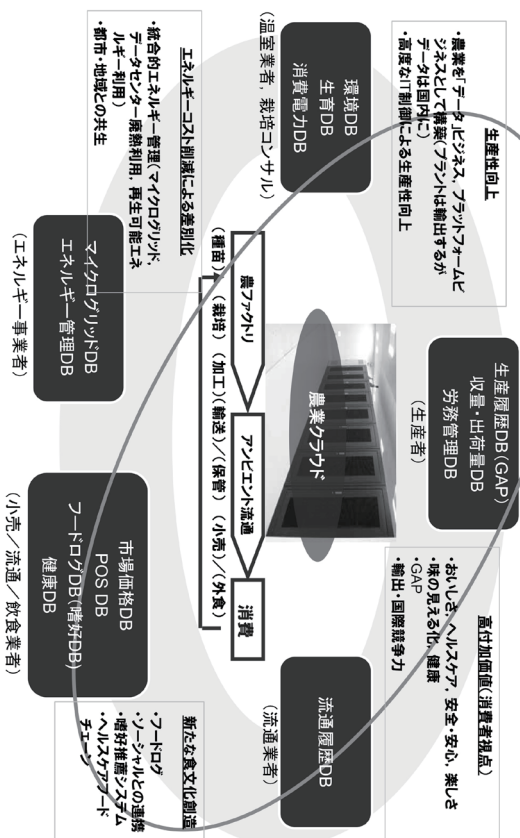
安全・安心に係るストリームデータをとり込んだ農業DBを構成することが出来る。アンビエント農業DBは、農業クラウドに蓄積された巨大DB群の中の、生産DB、生産履歴DB、収量・出荷量DB、流通履歴DB、市場価格DB、フードログDB（嗜好DB）、健康DBからなるDB群である（図2-2-1）。

健康、安全・安心に係るストリームデータとしては以下のものがある。

生産過程においては、栽培健康度を測る指標として、土壌診断データ（窒素成分〈アンモニア態窒素、硝酸態窒素、有機態窒素〉、リン、カリなどの三大栄養素、及び微量ミネラル成分など）、栽培データ（作物の生育状態を反映する色診断、病害虫診断）、作物の品質データ（糖度、色）などがある。流通過程、販売過程においては、健康、安全・安心度を測る指標として、残留農薬、腐敗菌、熟度・糖度、有効成分（ミネラル、ファイトケミカル）などのデータがある。

ミネラルは、一般的に有機物に含まれる元素（炭素・水素・窒素・酸素）以外に、生体にとって欠かせない元素である。また、ファイトケミカルは、植物中に存在す

アンビエント農業×安全・安心・健康



る天然の化学物質で、一般的に、「通常の身体機能維持には必要とされないが、健康によい影響を与えるかもしれない植物由来の化合物」を意味する。ファイトケミカルの多くは果物や野菜の色素や辛味成分であり、例としては、ルテイン（トウモロコシの黄色）リコピン（トマトの赤）、カロテン（ニンジンのオレンジ色）、アントシアニン（ブルーベリーの青）のもとである。ファイトケミカルには抗発がん性、抗酸化性を示すものが多い。近年、ファイトケミカルを豊富に含む野菜が開発・販売されているが、代表例として、スルフォラファンを成熟ブロッコリーの七〇倍含む「ブロッコリースプラウト」（村上農園）、一般トマトの二〜三倍のリコペンを含む「こくみトマト」（カゴメ）、二倍のカロテンを含むニンジン・ベータリッチ（サカタのたね）などが挙げられる。いずれも、健康、安全・安心を考える上で、重要な化合物である。

消費過程においては、消費者自身が実施する生活習慣病向けの自己診断データ（簡易血液検査）などが考えられる（図 2-2-2）。

二、消費者自身が健康度情報をチェックしながら機能性野菜の栽培へフィードバックし、自分の健康の現状に合わせた野菜を最適に栽培、購入できるようになる。アンビエント農業DB上で、消費者は契約農家へ、具体的に必要な有効成分をリクエストできる。また契約農家はDB上から有効成分をコントロールする為の施肥条件を選び出すことが出来る(アンビエント契約栽培)。

また、これら一般食の為の機能性野菜だけでなく、機能性野菜に含まれる有効成分を利用したサプリメント向け、医薬向け栽培への適用も可能となる。

実現性と課題

東京大学とアンビエント農業プロジェクト参加各社の保有する技術(ICT技術、センサ技術、栽培ノウハウ、化学分析・解析技術など)と後述する健康DBを組み合わせれば、技術的には十分に実現することが可能と思われる。

健康DBについては、既存の膨大な医療DBの一部を利用することと、消費者自

身の簡易検査データを組み合わせることから成る。既存の個々に存在する医療DBを集約する試みは、経済産業省の「医療情報化促進事業」の一環としても検討されている。また、消費者自身の簡易検査データは携帯等を介して医療DBへ入出力する為の技術的検討もなされている。今後、これらの技術的検討状況に応じて、アンビエント農業DBへリンクさせることも可能となるであろう。但し、個人情報を多く含む為、機密情報の取り扱いへの対応が今後の課題となるであろう。

循環型農業への発展

アンビエント農業DBでは、施肥から消費までの資材の流れを把握することが出来る。資材の循環の観点からは、廃棄物等は肥料として再利用される場合があるが、廃棄物に含まれる化合物の由来がある程度判っている為、肥料の再利用へ安心してフィードバックすることが可能となり、安全・安心な循環型農業へ寄与させることが可能となる。

第三節 農業×リサイクル

農業×リサイクル

持続可能な社会を構築するために、資源を廃棄せず、回収して再利用する取組は極めて重要である。日本は、食糧自給率が危機的状況にあるにもかかわらず、街角のコンビニからは、賞味期限切れの弁当や惣菜等が、一店あたり毎日平均十kg以上も廃却されている。国内全体の食品事業者・一般家庭の食品廃棄物の量は年間一千万トンに及び、これは国内で食用に向けられる全食品資源の一〇%を占める。

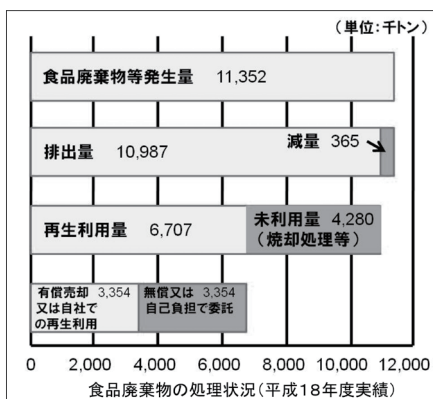


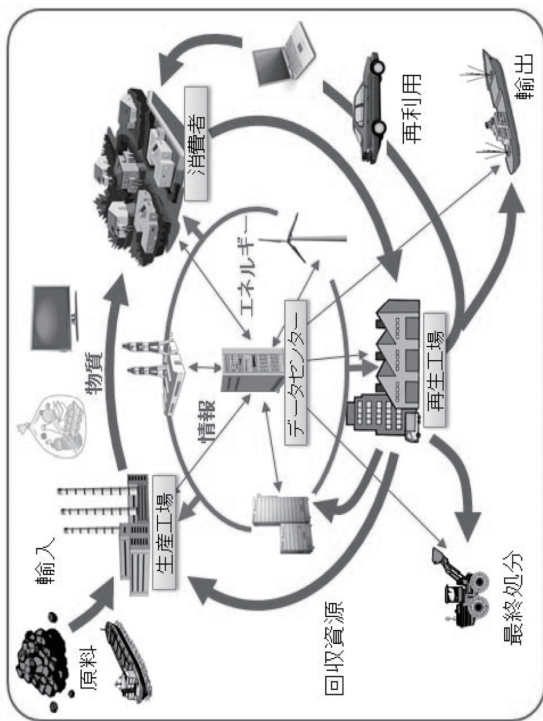
図 2-3-1

住友電気工業株式会社

このような状況を背景に、二〇〇一年には食品リサイクル法が施行され、食品廃棄物の有効利用がようやく図られるようになったが、高い回収コストや不安定な需給、品質の変動等の問題のために、二〇〇六年度現在で、まだ四百万トンの未利用廃棄物が存在しているのが現状である(図2-3-1)。

リサイクルをよりトータルな仕組みとして捉える考え方に、産総研等が提唱しているスマートリサイクルと言う概念がある。これは、工業製品について、情報技術を利用して製品の製造から再生使用などライフサイクル全体を管理し、「揺りカゴから揺りカゴまで」を通して安心・安全の向上および省資源・省エネルギーを目指した概念である(図2-3-2)。

アンビエント農業のように、高度に情報化の進んだ農業システムでは、同様の概念が適用できる。例えば、用語的にはリデュースの領域となるが、通常なら副産物として処分される規格外品を、規格に関する情報を付加させて市場に回すことによって、商品として扱うことが可能となり、結果的に廃棄物を減らすことができる。



スマートリサイクルのイメージ

図 2-3-2

同様に、賞味期限・消費期限の管理を綿密に実施することで、期限切れによる廃棄物の発生を低減させることができる。

リサイクルの領域では、資源回収の見える化を実現させることができるので、廃棄物の回収の最適化、廃棄物の品質の管理、需給量の予測等が可能となる。その結果、付加価値の高い高品質の二次製品（肥料等）を安価に安定して供給できるようになり、現在の問題点を解決して、高度なリサイクル社会を実現させることができる。最終的には、生産・流通・販売・消費の全工程を管理して、無駄を極度に省いた最適資源回収システムを構築することができる（図2-3-3）。

加えて、この仕組みの中で、農業情報や栽培ノウハウを取引対価としてやりとりするようになれば、リサイクルの促進に加え、生産者と消費者の交流促進も図ることができ、農業文化の普及に繋げられるものと考えられる。

通常のリサイクルにおけるアンビエント情報の収集に際しては、現実のリサイクルシステムとの関係が重要である。現在、事業者からの食品廃棄物のリサイクルは、

回収業者による収集運搬が一般的であるが、整備された下水システムを活用して、生ゴミを下水道で収集し、エネルギーと資源を一元的に回収する構想も検討されている。

後者が実現すれば、下水に投入する生ゴミの成分・量をリアルタイムでモニタリングすることによって、一般家庭の廃棄物を回収経路に組み込んで容易に管理できるようになる。また、尿尿と言う形で廃棄される窒素・リン等の有用資源も回収対象に含められるようになれば、現在、ほぼ全量を輸入に頼っている窒素・リン系肥料の国内自給につなげることができ、古代より連綿と続いてきた元素循環による持続型農業を、全く新しい形で現代に復活させられるかもしれない。

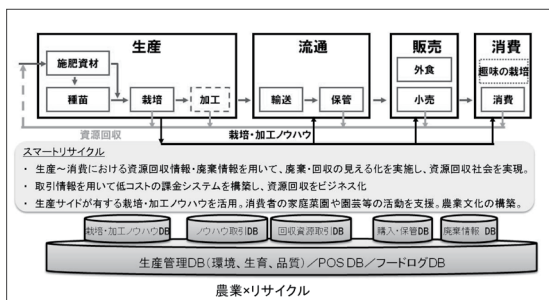


図 2-3-3

リサイクルの用途としては、一般的には、畜産向けの飼料、農業や家庭菜園向けの肥料、バイオガス等のバイオマス化、直接燃焼による熱エネルギーとしての取得（サーマル）等が一般的である。飼料や肥料としての活用が最も付加価値が高くなるが、安定した品質が求められ、需要も季節要因等による変動があるので、インプットとして投入されてくる廃棄物の質・量と、需要サイドの状況の両方の情報を収集・整理し、パフォーマンス的に最大となるような振り分けを行う必要がある。アンビエント農業から集まってくる情報は、これらの判断を下す上で重要な役割を果たし、結果としてリサイクル事業の収益向上に貢献できる。

リサイクルを進める社会システムの例

農住接近が図られた地産地消社会が、今後のコミュニティの一つのあるべき姿として提案されている。都市近郊等の住居地域に近接した農業は、消費者に新鮮な

農産物を供給できるだけでなく、市民農園や家庭菜園を通しての住民との交流や農業文化の紹介、緑地空間の提供、災害時の避難拠点等、様々な機能を果たしており、その存在に対する住民側からの支持も強い。

アンビエント農業がそこに組み込まれると、農家・流通・販売・消費者の相互の情報・意思の疎通が極めて容易となり、今まで限定的かつ一方通行であった情報の流れを、汎用的で双方向なものに変えることができるので、上述した機能を更に高めることができる。

リサイクルの観点からは、生産者と消費者の双方の協力姿勢が、トータルコストの削減には不可欠であるため、農と住の接近によってコミュニケーションが強化されることは大きな意義がある。

地産地消社会でのコミュニケーション強化を図りつつ、リサイクルビジネスを回す一つの例として、家庭菜園等の「趣味の農業」に農家の生産ノウハウを提供し、対価としてリサイクルで生まれた肥料を農家に提供するような仕組みが考えられる

(図 2-3-4)。

このシステムは、住居地区で回収された生ゴミ・下水から肥料等をリサイクルし、一部を家庭菜園等で自家消費すると共に、余った肥料やバイオマスを近隣農家に安価で販売するような仕組みを提案している。農家側からは、栽培情報や栽培ノウハウを提供してもらい、その情報を家庭菜園を持っている地域住民に有料で提供することで、トータルコストの低減を実現させる。

家庭菜園においても、二〇一〇年頃から、土壌の水分、温度、光といった情報を計測してネットワークにつなぎ、水道や電力システムを自動制御する商品が現れている。また、屋内向けでは、水耕栽培キットにコンピュータが内蔵されており、プログラミングによって定期的に水や肥料を投入するハイテ

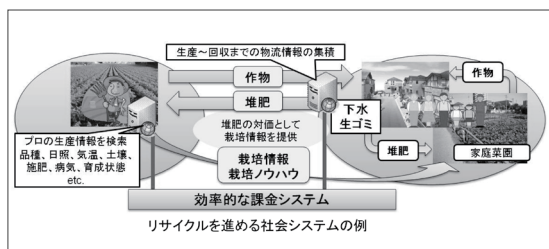


図 2-3-4

ク栽培システムが登場しつつある。新しいシステムの導入は、趣味の農業を楽しんでいる人々の方がむしろ積極的な傾向もあり、農家の生産ノウハウを情報システムに載せてビジネス化する機運は高まってきている。

現在のリサイクルの大きな課題の一つは、回収と再処理にコストがかかるため、新品のコストと比較して、必ずしも安価とならず、市場原理で普及を図りにくいことである。アンビエント農業が社会基盤システムとして構築されることにより、リサイクルシステム自体のコストダウンと共に、農業情報に付加価値を付ける等、新たなビジネスが生まれ、持続可能な社会の実現につながっていくことを願ってやまない。

【参考】持続可能性のある農業とするには(図2-3-5)

日本の江戸時代は、堆肥による資源循環が見事に達成されていた持続可能社会であった。しかしながら、衛生上の問題と激増する人口を支えるための反収増の

取組の結果、化学肥料が大量に使用されることとなり、資源循環のリングは切れてしまい、日本は一方的にリン資源を消費する国となった。近年、資源危機が国際問題として意識されるようになり、ようやくこの循環経路を再構築する機運が生まれつつあるが、従来と全く同じ方法を採用しないことは明らかであり、テクノロジーを導入した二十一世紀にふさわしい仕組みが待ち望まれている。但し、現代においては、市場原理に大きく逸脱しない経済的な妥当性が要求されるようになっていく。単純に、資源の再利用コストが購入コストを下回るようなハード技術を待つだけではこの目標を達成することは厳しい。資源循環に関わる全ての関係者が協力して、最適な社

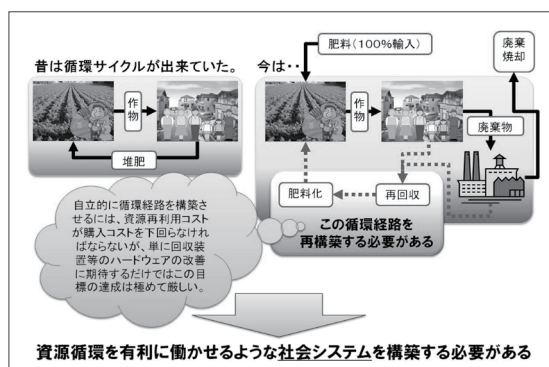


図 2-3-5

会システムを構築することがこの問題の鍵であろうと思われる。情報通信技術はその社会を維持するための基盤として大きな役割を果たすことが期待される。

参考文献

- 図 2-3-1 : 「食品ロスの現状について」(農林水産省 2008/8/8)
- 図 2-3-2 : 産総研加茂研究室 <http://staff.aist.go.jp/tohru-kamo/project3.htm>

第四節 農業×エネルギー

東京大学

農業共生型スマートシティ

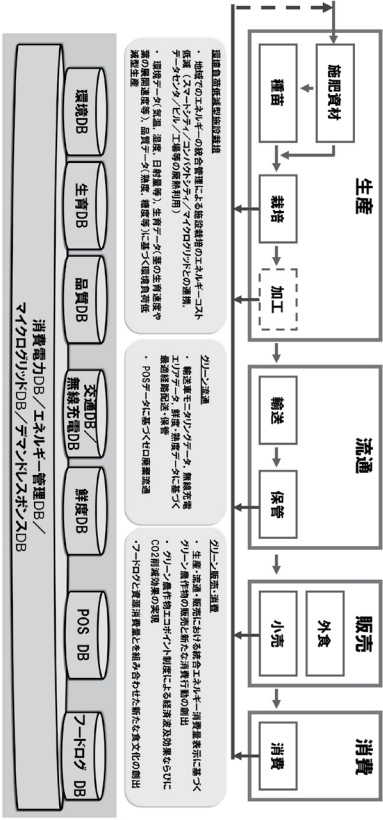
二〇世紀は国家、二一世紀は都市の時代と言われる。地球上の人口の大部分が都市に生活することになると予測されている中で、より賢い方法で地球環境に優しい状態を実現したスマートシティの構築が、全世界的に進められている。

市民の生活やビジネスを支えるのが、電気（エネルギー）、水、通信、交通、建物、行政サービスなどのインフラとなるが、これらの生活インフラ全体を垂直統合して、より効率的な都市を実現することがスマートシティの目的である。

大規模開発型のスマートシティが衆目を集めているものの、スマートシティ自体は自然、歴史、文化などの多様化に対応すべきものである。都市のルーツが農村にあることや産業としての農業の役割を考えれば、自然との共存をも視野に入れた農業共生型スマートシティの価値についても、あらためて議論をしていかなければな

農業×エネルギー

- グリーン農工商サイクルの確立による低環境負荷型農業の確立
- データセンタ等の廃熱利用による一体型エネルギー管理
- グリーン流通／販売／消費による生産／流通コストの低減, 新たな消費行動の創出



らない。

農商工連携、六次産業化、伝統産業との連携などに資する農業共生型スマートシティの実現にあたっては、まずは低環境負荷型の農業のあり方を考えるのが第一ステップとなろう。

低環境負荷型施設栽培

屋内型、屋外型を問わず施設栽培が抱える大きな課題はエネルギーコストである。出荷時期の調整や品質向上などを実現するために暖房や除湿などを行わないといけないことによる。施設栽培におけるエネルギー消費は、生産コスト全体の二五〜三〇%をも占めるようになりつつあり、産業としての農業を考えるにあたっては、エネルギーコストの低減が喫緊の課題となる。施設栽培の先進国であるオランダでは、温室を利用して太陽光を集め、蓄積したエネルギーをヒートポンプと熱交換器を用いて温室内の暖房や冷房に利用し、二酸化炭素の排出量の六五%の削減を目指

している。

温室自体のエネルギー消費の低減に向けては、太陽光発電などの自然エネルギーの利用や、トリジェネ（電気と熱をコージェネレーションシステムにより効率的に生み出すと同時に、副産物として発生する熱を暖房に利用し、二酸化炭素を栽培に利用する方法）の導入などをまず考えなければならぬ。太陽光発電に代表される分散型電源を導入し、余った電力を売ることによって利益率を高めるといったエネルギーデザインが今後の施設栽培事業者には求められる。

また、センシングデータを利用すれば、環境負荷のさらなる低減を図ることが期待できる。

例えば、環境データ（気温、湿度、日射量等）、生育データ（茎の生育速度や葉の展開速度等）、品質データ（熟度、糖度等）、消費電力データを得ることができれば、空調制御と出荷時期の関係、空調制御と品質との関係を明らかにし、環境負荷低減型生産を実現できる。温室内の気温・湿度環境データを集約すれば、温室内の温度

や湿度などを見える化することができ、空調設備の出力、風量、風向きを動的に制御して生育の促進やカビの発生の抑制をも図ることも可能となる。なお、このような動的制御機能は、環境配慮型データセンターにおいても必要とされるものであり、データセンター向けに開発された技術を転用することができる。

これからの施設栽培事業者は、エネルギー事業者としての顔をも併せ持つことが必要となる。

地域一体型エネルギー統合管理

温室単体でのエネルギー管理に加えて、地域一体型のエネルギー統合管理を行うことで、さらなるエネルギーコストの低減や、環境負荷の低減を図ることができる。

例えば、データセンターと温室とを統合的に構築することで、データセンターの廃熱を利用することが可能となる。また、化学工場などから排出される二酸化炭素を回収して温室まで運ぶことで、二酸化炭素の再利用をも行い、農作物の光合成を

促進し、収穫の増加や作期の短縮につながることもできる。

すなわち、温室のみを考えるのではなく、統合的に地域設計をしていくことが農業共生型スマートシティの構築にあたって必須である。土地固有の自然、文化、歴史などを踏まえ、どのような産業を根付かせるのかをデザインしてはじめて、地域設計の中での温室の位置づけが明確になる。これにより、より競争力の高い施設栽培が実現できる。

また、電力網と情報通信網が統合されたスマートグリッドの導入の機運が高まりつつあることを踏まえると、デマンドレスポンス（需要応答）の事業機会も視野に入ってくる。デマンドレスポンスとは、電力網における需要（デマンド、特にピーク需要時）に応答して顧客が電力消費を低減したり、他の需要家に余剰電力を供給したりすることである。米国では、複数の顧客をひとまとめにして電力消費を調整する中間事業者（アグリゲータ）が登場している。多数の温室が存在する地域においては、温室をとりまとめて電力会社との調整を行うアグリゲータを構築すること

で、地域全体で効率的に消費電力を削減することができるとともに、アグリゲータという新たな事業機会をも得ることができよう。

温室を地域の一部としてデザインし、先進的なエネルギー統合管理を行う事例を構築していかなければならない。

グリーン流通・販売・消費

食品は典型的な消費財であり、低価格品の大量流通という宿命があるため、産業としての農業の実現にあたって流通コストや販売コストの削減が必須となる。一方、農作物の鮮度を維持したまま、少量ごとに、指定された時間に、指定された場所に的確に配送して販売しなければならないという要求にも応えなければならない。

物流コストは売上高比率で一〇%を越えているとも言われている。野菜の廃棄率にいたっては生産歩留まりを入れると三〇%を越えるとも言われている。物流・販売コストの削減、ならびに物流・販売の高機能化が強く求められている。

これに向けては、生産から物流・販売までのサプライチェーンから得られるセンシングデータが鍵を握る。出荷データ、輸送車モニタリングデータ、鮮度・熟度データ、販売時点情報管理（POS）データ、フードログデータを集めて見える化する事で、コスト把握が可能となる。また、積み下ろしは品質の劣化に大きく影響するため積み下ろし回数をできるだけ最小限にすることが望まれるが、このような最適流通・保管経路を明らかにすることもできる。さらに、生産から販売にいたる温度管理状況などのトレーサビリティも実現できる。

このような安全・安心な農作物の提供、安定的な農作物の提供に加えて、エネルギーという観点からも、流通・消費・販売の付加価値を高めることも可能である。

例えば、農作物一点あたりのエネルギー消費量、二酸化炭素排出量を把握することにより、新たな消費行動の創出につなげることができる。農作物を購入する消費者に「グリーン農作物エコポイント」を与えたり、二酸化炭素排出量情報を付与して購買行動の選択基準の一助にしたりすることで、売上を維持し、物流コストを削

減するという経済効率向上を図りながら、環境効率にも配慮することが可能となる。生産者から消費者までの全物流プロセスにおいては、配送のみならず、保管・貯蔵・加工などといったプロセスも含まれる。そのため、二酸化炭素排出量を把握することは容易ではない。しかしながら、エネルギーコストの低減という強い要求から電力の見える化は進みつつあり、これらのデータを統合することで、近い将来農作物ごとのエネルギー消費量を把握することも可能となろう。

さらに、生産から消費までのサプライチェーンにおけるデータを集約することで、最終的には農作物のゼロ廃棄を目指していかなければならない。出荷時期調整と販売予測とをマッチングさせて、廃棄物ゼロの世界を作ること、真の意味で環境負荷低減型農業を実現できる。

このような世界の実現に向けては、単に農業事業者と商工業事業者とが連携するだけでなく、それぞれの領域において生成される膨大なデータを収集し、データマイニングを行い、新たなビジネスモデルの創出につなげていくことが必要である。

ほとんどデータが集められていない現状に鑑みれば、イノベーションの余地は無尽蔵にある。

第五節 農業×未来予測

住友電気工業株式会社

農業の社会的な役割とさまざまなリスク

人類は、かつて他の動物の食べ残しをあさり、たまたま手に入った植物の実などを採取して食べ物としてきた。その人類が、自らを決定的に確実な存在とすることができたのが、牧畜・農業の発明である。それまでの人類は自然とともにあったが、農業を機に、完全な自然依存から抜け出た存在となった。例えば、自然に育つ植物のうち、葉や茎、根などを食料にできる特定の種類を選別的に、植え、育て、収穫することを始めた。また、料理方法や蓄積する方法も、その風土にあったものを選んできた。さらには生産と分配・交換など地域文化の柱となっている。

しかし、農業は生物・植物を食物とする以上、今日において、それらを育む自然環境と無縁ではありえない。農業産物は貯蔵可能な穀物は、経済手段となってきた。

この項では、農業生産を経済活動とみて、生産者が農業経済において交渉力を持つ必要がある、農業という自然とのかかわりを考えた場合の必要かつ有効な未来予測技術についてみていく。農業が自然環境に依存する点は、様々な技術が導入されたとしてもかわらない。農業生産者には、根底には環境を大事にしながら農業に持続的に取り組むという姿勢があるのはこのためである。過度に環境に負荷をかけることは将来の継続性にも影響がある。従って、食料問題は、農業経済の中で、加工・流通、消費者の三者で共有して解決すべき問題であるが、下流ほど経済原則一辺倒になりやすい食品の供給において、農業生産者のリスク負担を軽くし、永続的に事業を継続する姿勢を後押しする術が必要である。

未来予測技術により、リスクが現実のものとなった場合、その回避・代替手段を講ずる。生産段階では農業従事者がその当事者である。農業従事者にとって難しい判断を迫られるのは、手段を行使した影響が環境に作用し、翌年の収量低下させることである。つまり、翌年の損失とのトレードオフとなる。また、それらの対策は、

市場からの評価で対価がきめられてしまう。味・衛生・安全性・傷やつやなどの品質で判断されてしまい、生産者のみがリスクを負いがちな構造となっている。本来なら、すべての生産者との競争で競争の評価の余地があるはずであるが、実際は、他の生産者やグローバルな供給まで判断できないため、生産者は不利な立場にある。このため、少しでも、生産者が交渉力を持つことが重要となる。生産者に一定の交渉力としてこれらの未来予測技術をもってもらい、健全で持続可能な農業生産モデルをめざすことを考える。

農業生産における資源とリスク

農業における自然環境のコントロールに数万年の時間を要している。近年は、環境・自然資源のマネジメントが地球レベルの気候温暖化の影響や人間活動のグローバルレベルの活発化により、農業生産のリスクとなる要素が増え、かつ大規模な発生となっている。このため、従来の個人や地域単位の経験や予想が必ずしも成果に

つながらなくなってきた。

食料・農業にとって環境は切っても切れない関係にある(図2-5-1)。農業資源は自然資源と社会資源とに分類される。このうち、天然資源、および環境をマネジメントに含めることは従来困難とされた。特に、気候、天候の予測は、暦のもとになるほど人類は知恵を集積してきたが、年によって、ひでりなどによる干ばつや昆虫の発生、水害などに対しては祈りをささげるほかなかった。

産業革命以後、人類は動力を駆使できるようになり、農業分野にもこの動力を取り入れて、干ばつ対策をしてきた。貯水・灌漑水路など人工施設に動力を利用して水を送り込み、大規模自然改造や長距離灌漑が可能となった。本来のその食料生

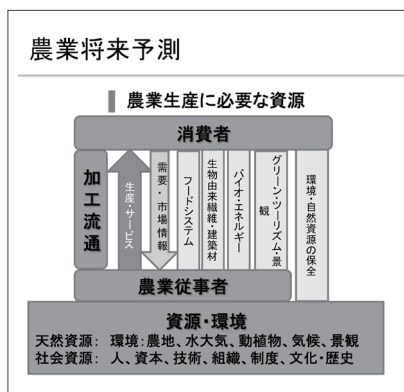


図 2-5-1

農業経営におけるリスク

物が育成できない地域や時期でも、人工的に環境を改造することによって、産業化してきた。品種改良には、さらには遺伝子操作が導入され、植物の環境耐性を高めることも可能となってきた。

これらの技術の進展により、農業経営において必要な自然・環境資源を人類は完全に制御し、リスクはなくなつたのだろうか。現在の農業経営においてリスクとなる要因を図に示す(図2-5-2)。

食料生産としての農業経営において、環境とは切っても切れない関係にあり、農業生産者にとっては、いずれの要因もリスクが伴っている。農業・

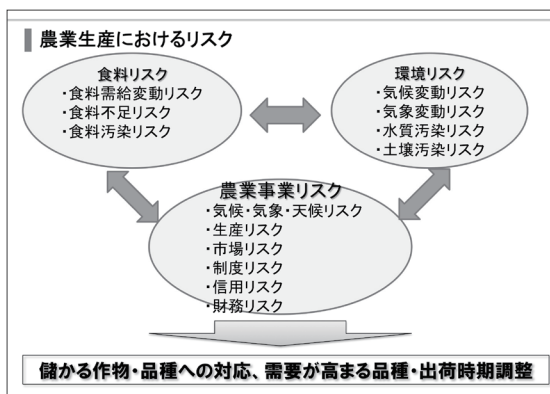


図 2-5-2

食料生産のリスクについては次のように三つのグループに分けることができる。

一 食料リスク…食料需要変動、食料不足、食料汚染リスク

二 環境リスク…気候変動リスク、気象変動リスク、水質汚染リスク、土壌汚染リスク

三 農業リスク…気候・気象・天候リスク、生産リスク、市場リスク、制度リスク、信用リスク、財務リスク

これらの三つのリスク群は相互に関連しており、実際に起こった結果からは、主要な原因は推定できるが、予測をするのは困難な要素が多い。

気候変動の例として、地球温暖化に伴い発生頻度が高くなっている集中豪雨、あるいは気温上昇による虫害の発生、植生の病気などがある。その地域での経験に常識が支配されていると、その浸透に気づくのが遅れるようないリスクが加わっている。さらに人の経済活動のグローバル化がこのようないリスクの飛び火に拍車をかけるケースが増えている。インターネットが利用されるにおよんで、昔は特別な人し

か食べることができなかった食事や、特定地域の人々の食事の習慣や嗜好がグローバルに瞬時に支持をえて広まる。生産者も特定地域のブランド化を図り、種類を絞って量産しているので、損失規模も大規模化する。この場合、代替作物や補完的供給関係を生産者自身がもっておくことで、交渉力を発揮できるが、どこの地域とそのような連携関係を組むべきかなど、難しい。

特に海外市場を狙って、集中生産をするような場合は、顧客のブランドへの信頼の競合品へ目移りする恐れもあり、リスクが格段に高くなってしまっている。また、特定作物のために、水や土壌管理等で商品作物に合わせて環境も適応させていることから、本来の地産地消の時から比べるとエネルギー水資源などを地域のバランスをくずしてまで実現せざるを得ない状況になっている。

さらには、特定の経済活動によって、大気や水など、農業以外に野生動森林など自然環境にも影響が懸念されるようになり、これらはこれらは時間的がたつにつれ、環境自体を変化させる懸念すら出てきた。このようなことを環境リスクとしてまと

めている。環境リスクをまとめると人類は空間的（グローバル化）にも、時間的（瞬時、同時に起こる需要）な変化に自らの環境を意図しなかった混乱をきたし、全体のマネージ計画化としての農業を調和させて進展させることができなくなりつつあるといえる。

気候変動と農業への影響

気候モデルと気象モデルについて

未来予測に必要な気象モデルは、気候モデルである。気象モデルとは異なり、シミュレーションする対象は季節、年、一〇年単位での分析と予測である。目的は天気の統計的な変動予測。計算機のモデルとしては、天体としての地球、太陽の物理的な数値や、森林の種類や面積で構成が進められてきた。これに、二酸化炭素などの量なども加味した方程式で構成されている。ただし、これまでの方程式では、そ

れまで測定や観測がしにくかったパラメタ群に対してはある程度大まかなパラメタとして代行してきている。実際の分析や予測においては、シミュレーションのアンサンブル（集団）アプローチがとられる。アンサンブル平均を使う要素が増えれば、傾向がならされるため、地上の計算の単位（グリッドと呼ぶ分割されたエリア）をより細やかにするなどして、最近では相当精度が向上してきた。

次世代気候モデルは、農業における未来予測を意識したモデルとして活用できなければならぬ。気候モデルは、これまで大気海洋の流体力学中心のモデルから、大気化学や物質循環など、より広範なプロセスを含んだ統合地球環境モデルへと急速に進化しつつある。また、これまで、流体力学モデルの表現で代用せざるを得なかった雲の動きも、地球レベルでの雲解像気候モデルが出現しつつある。これらの進展により、大気海洋モデルから統合地球環境モデルになってきている。例えば、対流圏オゾンと一酸化炭素およびPAN(RCO_3NO_2)と呼ばれるシミュレーションにより、大気汚染物質や大規模森林火災による一酸化炭素の地球レベルでの長距

離輸送の様子がわかるまでになっている。

農業の未来予測に必要な植生分布については強化が必要である。陸上の植生分布（森林や草原などの分布）については、気候変化によって影響を受けて植生自身が変化するとともに、気象変化への影響も与えている。これを受けて、動態植生モデルを気候モデルに組み込む試みが開始されている（図2-5-3）。

そして、最後に、こういった気候のシミュレーションに人間自身の活動を十分に反映していくことである。これまでの、気象モデルは、火山噴火などの自然現象は組み込んできたが、地球温暖化の考察には、人間の活動、すなわち石炭、石油、天然ガスの燃焼による影響を含める必要がある。環境中の人間活動期限の二酸化炭素の増

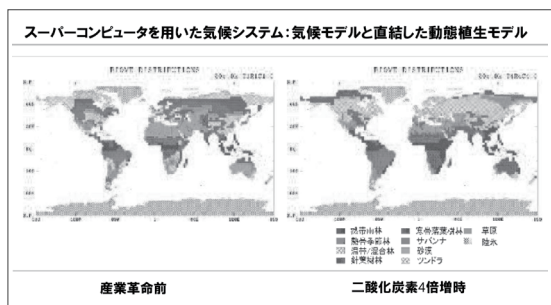


図 2-5-3

加は、炭素同位体比の変化、すなわち「炭素同位体効果」を利用して分析することが可能であり、気象モデルの精度も増してくる。ただ、計算するグリッドがより細やかになって精度が向上するにつれ、短時間により多くの計算量が必要となり、計算手段も飛躍的な向上させる必要がある。

農業への未来予測技術の導入

国内では食料とする植物の遺伝子改良による品種改良や、人工降雨といった環境・生命多様性の破壊につながる技術開発には消費者のコンセンサスを得るに至っていない。あくまで自然環境を保全しつつ産業としての強化を図っている。

そこで、農業事業におけるさまざまなリスクを下げる技術のひとつとして、未来予測技術を取り上げ、その可能性を示す。未来予測と併用することで、アンビエントセンサネットワークへの期待が具体化してくると思われる。

気象には、これまで環境情報を入れることはしなかった。しかし、農業活動や

人間活動は、従来以上に自然環境への影響があり、しかも人間による活動による環境変化への影響は比較的短期間に影響が出るようになりつつある。これらを反映しての分析と予測のために、大規模なデータの蓄積と解析技術が必要となる。また、グローバルに影響する地点情報がまさに地球規模で多数にわたり、これらを効率よく分析・予測に反映していかなければならない。

農業経済におけるグローバル情報が必要でGIS (Geographical Information System, 地理情報システム) と密着した大規模センサネットワークから構成される。

① センサネットワークによるフィールドの情報

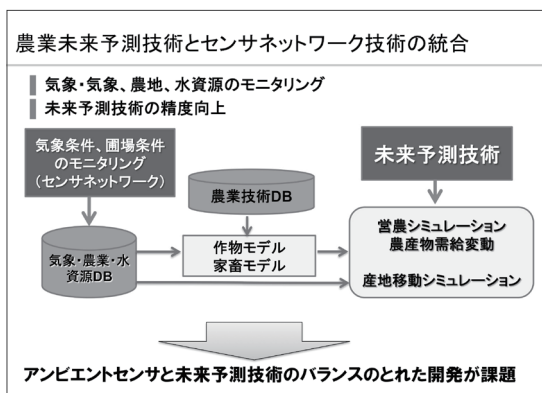


図 2-5-4

a 温度、湿度などのこれまでの農業従事者の感覚を表す気象情報に関するセンサ情報

b 長期間のビッグデータとして蓄積・解析することで得られる長期的な気象・気候変動情報

② 植物の育成状況・手触りなど、画像を取り入れた、農業従事者の感覚による画像センサ情報

③ スペクトル、二酸化炭素量など、気象など長期的な環境情報の情報

これらをグローバルに時系列に情報レベルで集積分析することで、産地の環境条件変動への対策、あるいは特定国により農業経済政策がとられた場合の我が国の対抗策となる農業品目・品種変更策、あるいは栽培条件変更などのリスク回避手段に結び付けることが期待される。

未来予測技術の活用

国内の農業は、かつては産地間競争が激烈な作物果物が多かったが、現在は交渉力をもつことが重要になっている。国内では野菜や果実は、一九七〇年代以降、府県別に産地の生産出荷量のシェア順位が頻繁に入れ替わった。これは、農家が組織化され、その地域のブランドとして、価格、品質、出荷時期を競い合った結果、供給者どうしで競争が繰り広げられたためである。例えば、ミカンの産地は、愛媛、静岡などから、和歌山、広島、長崎、熊本なども加わるなどしたが、一九九〇年代に入ると、生産量自体が縮小し、産地間での棲み分けがなされてきている。品質、品種、ブランド強化などの努力により、出荷時期等をたがえることが可能となったためである。これは、商品作物の栽培技術、保管技術、輸送技術が開発され、流通において駆使できるようになった結果である。その結果、現在はサプライチェーンにおける産地と販売側（流通）のマーケティングが重要になった。さらに、流通よりさかのぼった生産の立場にも関わる国内商社は中国などに野菜生産産地を構築し、日本向けに輸出するようになっており、競争は一部では、海外との競争で激化する

様相も呈している。農業従事者も産地間での競争と棲み分けに至るまでの「交渉力」を持つことが重要となっている。

未来予測技術の基本はリスク管理であり、将来にわたって、農業における損失をゼロにすることはできない。このことは、技術によって人類の存在に関わる食料・食品が統一されたり、特定の穀物を扱う企業が国境を越えて、供給や育成を支配することはグローバルには望まれない。したがって、生産者としての農業者が、流通や消費者に交渉において一方的に不利になることのない技術として、生産者としてのリスク管理技術を持つことは重要である。例えば、農民生産特有のリスク（単年度の収穫だけでなく、多年にわたる栽培品目の選定なども）に伴う損失を軽減する方法として、未来予測に基づくデリバティブ制度があげられる。これは、世界ではじめて江戸時代の我が国で取引された米の先物取引に通じる。すなわち、損失が出た場合でも、翌年以降への回復手段を残すことができるのである。技術開発と流通の仕組みを連動させることで、農民生産を復元力ある事業とすることができると日本

農業 × 未来予測

①気候・気象変動を捕らえた精密予測技術

- ✓ 気象変動・土壌環境変化に対応した産地移動：品種の改良・開発
- ✓ 気象変動による病気、発生虫害の発生時期・場所予測：適応した品種・作物への転換や育成法（発生被害最小化・収穫時期）に変更

②需要予測型栽培管理により利益を生む技術

- ✓ 気候の変動でも利益を生む農業技術
- ✓ 嗜好の変化・豊作貧乏回避に対応した品種転換・出荷時期調整

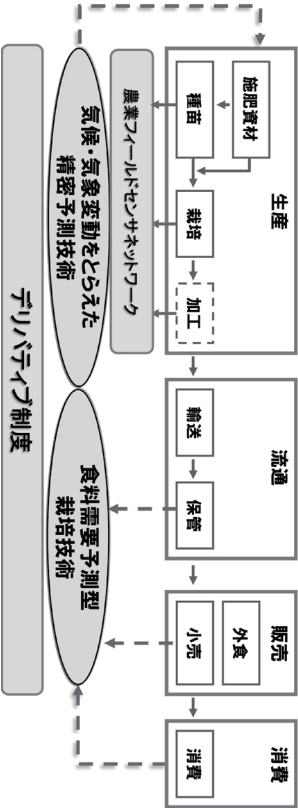


図 2-5-5

農業は、日本の環境・土壌を相手に、日本人の食べ物づくりを中心に営まれてきた。しかし、日本食が海外でも好まれ、海外の人たちも食するようになると、この需要が新たなビジネスを引き起こす可能性もある。さらに海外の都市化の進行する環境で、その地で望まれる食材の生産を伸ばす技術も必要となる。日本が、農業未来予測技術を先進技術として磨き、地球レベルの環境の多様性・生物多様性に配慮して、食の多様性に寄与し、世界に発信していくことが期待される。

参考文献

図 2-5-3 「スーパーコンピュータを用いた気候システムの研究」(東京大学気象システム研究センター 大木昌秀)

第六節 農業×地域

東京大学

本節では、まず農村地域を主軸として「農業×地域」を考え、そして農村地域を中心に地域の範囲を広げ、消費者の多くが暮らす都市地域も含め、アンビエント農業との関わりや今後の農村と都市の関係を考えてみたい。

生産と生活の複合空間である農村地域の維持

農村地域の特徴は農業生産を行う空間と生活の空間が複合していることである。生産の場所である農地と住宅の場所の距離は近く、住宅の敷地内にビニルハウスなどの農業生産に関わる施設があり、住宅の目の前に水田が広がっていることも多い。都市の居住者が車や電車によって長い時間をかけて仕事の場所に通う、生活と生産（仕事）が離れている状態とは少々異なる。生産と生活の複合のもと、生活におけるさまざまな活動、例えば集落内の共同作業による水路の清掃や畦畔・農道など

生産と生活の複合空間である農村地域の維持

- ✓ 農村地域では、生活におけるさまざまな活動をおして、生産のための基盤（農地・水路・農道など）が管理されてきた。居住者が減り、生活の空間でなくなれば、同時に生産基盤は弱くなる。アンビエント農業によって、農業を続けられる環境をつくり、生活そして地域を維持する。

持続的な農業による農業の多面的機能の維持

- ✓ 農業は自然環境や生態系の循環プロセスと深く関わる産業であり、長期に持続させるためには、低環境負荷型の農業を目指す必要がある → 農作物管理と農地・農業環境のモニタリング
- ✓ 国土の保全、水源のかん養、良好な景観形成などの農業の多面的機能を維持する



図 2-6-1

の草刈り、そして婦人会や青年団などの地域組織の寄り合いなどのコミュニケーションの活動は、直接的もしくは間接的に、農地・水路・農道などの農業生産のための基盤の維持管理に繋がり、日々のコミュニケーションにおいて営農のための情報を交換することになる。すなわち、農村での生活が農業生産と深く関わっている(図2-9)。

二。農業地域類型区分において中山間地域(中間農業地域+山間農業地域)と区分される地域は、国内の経営耕地面積の四割を有し、そして農産物販売額の三割を生産し(農林水産省、2010)、日本の農業を考えるにあたつて重要な地域であるが、都市地域と比較して、高齢化や人口減少の進みが特に早い。これらの地域において居住者が減り、生活を営む場が成立しなくなれば、同時に農業生産の基盤は弱くなると考えられる。現状では、多くの農村地域において農業従事者を十分に確保することは難しい。これは農業を続けていくことの難しさや農業を生業として選択することの難しさに起因している。アンビエント農業の貢献は農業を続けることのできる環境をつくり、支えることである。そして農村における生活を維持し、地域を維持

することである。アンビエント農業を考えるにあたり、図2-6-2※¹は農業を含め第一次産業において必要とされるイノベーションの概念図を示したものである。「生産」、「流通」そして「消費」の三つのプロセスをとりあげ、農業（第一次産業）を産業として再構築し、活性化させるために第二次産業や第三次産業との融合（1+2+3＝6、六次産業化・農商工連携）をベースに、生産のプロセスにおいて、生産時の消費エネルギーを節減するのみでなく、エネルギーの地域循環利用によるエネルギー創出型施設の開発※²を提案している。また消費のプロセスにおいて安全・安心への対策、健康・疾病予防など機能性を持たせた食品の開発などを挙げている。

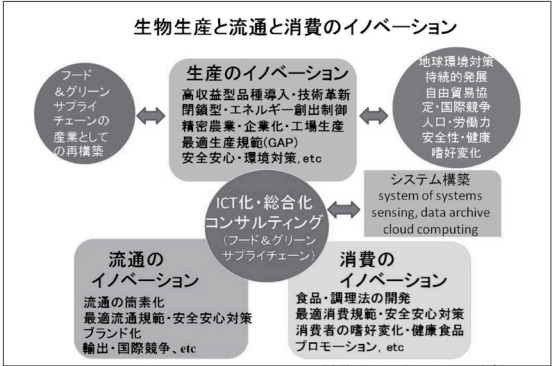


図 2-6-2

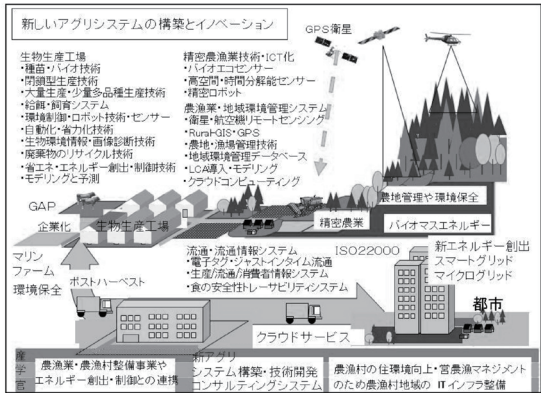
また生産から消費段階までを一元的に管理する「新しいアグリシステムの構築」を図2-0-3※³に示すが、農作物や農地環境を対象とした機能リモートセンシングやGISを利用した農業・地域環境管理システム、生産から消費に至る流通情報管理システムなどが提案されている。

これらのシステムは、農村地域において農業を続けることのできる環境づくりのための提案である。

持続的な農業による農業の多面的機能の維持

農業の直接的な機能は食料を生産することであるが、その他にも農業は多くの機能を持つ。例えば、食料・農業・農村基本法の第三条では代表的なものとして、国土の保全、水源のかん養、自然環境の保全、良好な景観の形成、文化の伝承が挙げられている。それらの機能には、水質浄化機能、雨水保留による洪水防止機能や棚田保全による土砂崩壊防止機能のような「水と土」に関わるもの、加えて生物多

様性の保全機能などの自然物理的な機能から、保健・レクリエーション機能のように社会的な機能まで、その種類は幅広い。これらの各機能は工業製品が持つような明瞭でわかりやすい機能ではなく、機能を測定や計量することが容易ではないものが多い。しかし、農業が持続的に行われることによって私たちに複合同時的にそして長期にわたり提供される大切な機能である。重要な点はこれらの多面的機能の多くは、農業が自然環境や生態系の物資循環プロセスと深く関わることを基盤としていることである。したがって、今後も農業の多面的機能を維持していくためには、環境



産学官連携による新アグリシステムの構築とイノベーション

図 2-6-3

負荷の低い、環境保全型農業を続けることが望ましい。そのためには、適正な施肥量や農薬量管理を目的として農地への物質の投入量や排出量を把握するための物質循環モニタリング、農業機械の燃料消費から排出される二酸化炭素(CO_2)、農地から排出される一酸化二窒素(N_2O)やメタン(CH_4)などの温室効果ガスのモニタリングやLCA (Life Cycle Assessment)、また農産物の収量や品質のセンシングに加えて、これらを直接的に左右する気温、日射量、水分などの生産環境のモニタリングなど、農作物管理と農地・農業環境のモニタリングとそれらのデータベース(D B)の統合化が必要となる(図2-6-1)。

今後の農村と都市の関係そして長期的視点

これまで日本においては、都市が拡大し、優良農地が都市化により縮小してきた。しかし、今後の人口減少による都市の空洞化・スラム化を防ぎ、都市機能の効率化

を進めるためには都市の円滑な縮小、機能化が必要となる。また、農村においても人口が減り、労働人口が高齢化し、限界集落、さらには廃村を余儀なくされるところが増える。このため、前述のとおり、農業の産業としての再構築と農村地域の円滑な拡大が必要とされる。このような状況において、ICTを中核とし、都市と農村を有機的に結合し、地域のエネルギー・資源循環化、農業の六次産業化・農商工連携、医食農連携などにより地域社会の活性化を図る必要がある。そして、国際競争力があり、かつ人と環境が調和したアンビエント農業社会システム構築を目指す必要がある。

世界的には、二〇五〇年頃までは人口の増加が予想され、また、生活の質の向上により、農業や食料産業は成長産業として位置づけられる。しかしながら、無計画な農地の拡大は、地域の環境を破壊し、地球環境を悪化させる。日本が先行している都市地域の拡大と農村地域の疲弊、さらにその後を訪れるであろう諸問題への対策や解決法は、他の国が今後、同様の問題に対応せざるを得ないとき、活かせるで

あろう。このことは、農業や食料産業としての国際競争力の強化だけでなく、世界規模でのアンビエント農業社会システムとしてのインフラ市場の創成、輸出などにも貢献する可能性がある。

参考文献

大政謙次 新アグリシステムの構築 「動け！日本ーイノベーションで変わる生活・産業・地域」 動け！日本タスクフォース編, 232-233, (2003).

大政謙次 新アグリシステム：第1次産業のイノベーション. Eco-engineering 16(1) : 9-13(2004).

大政謙次 グリーンハウスオートメーションー栽培の自動化と品質管理、そして環境対策 遺伝 64(2) : 87-95 (2010).

大政謙次(編著) 農業・環境分野における先端的画像情報利用. 農業電化協会. P.155(2007).

大政謙次 知能的太陽光植物工場の新展開11 アグリバイオイメーjingの新た
な展開―農業および園芸85 1100-1109 (2010).

農林水産省 食料・農業・農村白書. p.344 (2010).

脚注

1 : 図、大政、2004, Eco-engineering

2 : 詳しくは大政、2010, 遺伝

3 : 大政、2003, 動け！日本

第三章

アンビエント農業を支える基盤

第一節 農業×センサ

日本電気株式会社

アンビエント農業におけるセンサの役割

従来型農業におけるセンサの役割はおよそ以下のものである。生産、流通、販売、消費の農業サプライチェーンを見ると、現在センサ利用の中心は生産段階の適用にある。施設園芸や植物工場など生産現場においては、日照や温度などの最適化によって生産効率を高める目的で様々なセンサが利用されている。流通段階では、出荷時の糖度などの品質計測や、RFIDを用いたトレーサなど新たなセンサ利活用も始まっているが、それらはサプライチェーンの各段階内の効率化など、個別の利用に留まっている。また、近年ではフィールドサーバなど、屋外型農業に適合させ、生産を安定化させるような取組みも出現してきているが、ここでのセンサ利用も生産事業者を支援するためのものが多い。以上のように、従来型農業でのセンサの利

活用は、一部流通での新たな取組みはあるものの、多くは生産段階での収量の拡大や自然条件変化への対処といった部分に注力されてきたと言える。

それでは、多種多様なセンサの普及を前提に、アンビエント農業化が進むと農業に係る社会的なニーズとしては何が変わるのだろうか。いまだけ、ここだけ、あなただけといった画一的でないサービス（支援）がきめ細かく実行されることで消費者ニーズの多様化、品質へのこだわり、安心・安全の確保などの消費動向変化に対応可能な生産・流通・販売・消費の形が拡大するのではないだろうか。一方、その実現のためには、生産から消費に至るまでのセンサの新しい活用方法や、センサからの情報をもとに生産・流通・販売・消費の各段階をICTでつなぎ、単発的な利用に留まらない新たな価値を創造し、それを流通させることなどが重要となる。

従って、アンビエント農業におけるセンサの位置付けや方向性、そして課題は以下のように考えられる。第一に、サプライチェーンの各段階において、現状センサの新たな利活用によって新たなニーズに応える物理量の把握や計測がなされ、得ら

れた情報の価値化が進むだろう。それには、例えば安全を保障するような新たな社会的ニーズを実現するために、新機能を有するセンサの実現も必要であろうし、センサ利活用を大幅に広げるために、低価格化や小型化などの実現も欠かせない。第二には、流通や個人消費までセンサの利活用が進む結果、情報のビッグデータ化が進展し、データベースやデータマネジメント、情報流通、フォーマット、インフラ、標準などの仕組みを整え、さらにソーシャルメディアのような、多様な媒体を通じて情報流通を加速することなども重要な課題となると思われる。

図3-1-1は情報の流れとセンシングの視点からアンビエント農業を俯瞰し、今後重要となる情報の価値化を加速する可能性のある、新たなセンサの利活用事例をマッピングしたものである。以下ではこれら事例をもとにアンビエント農業におけるセンサの役割と将来の展望を具体的に紹介する。

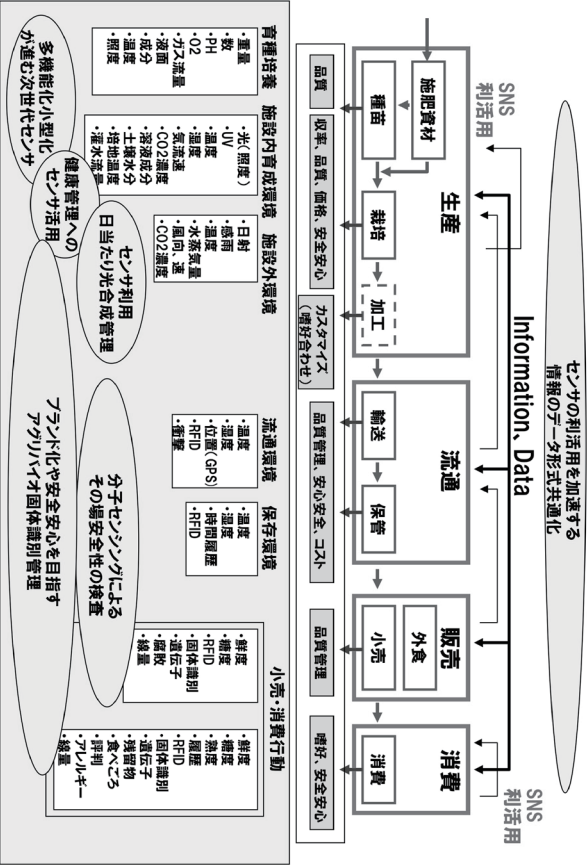


図 3-1-1

アンビエント農業を加速するセンサの利活用を目指して

農作物のセンシング情報のデータ形式共通化が食をさらに豊かにする

食べ物、特に農作物に対して、消費者が持つ主要な関心ごとは、「おいしいか」、「安全か」更には「健康的か」である。消費者はこれらと「コスト」を意識しながら小売店や飲食店を選ぶ。

図3-1-1における各業者は、各々の事業を効率化すると共に、消費者のこれらの意識に訴えたいために、様々な形で扱う農作物の情報を収集・分析し、提供している。これらの各業者・業種で分断された情報の利活用を進めるには、農作物を高度にセンシングする技術だけでなく、確実に（漏れることなく、捏造されることなく）、必要な人が誰でも（統一的に）利用できる共通となる情報のデータ形式やその流通ルールが有用と考える。情報が生成された時間と位置のような基本情報や、農作物だけでなく関連する人や物の活動も含めたセンシング情報を、標準化等により統一

的に扱えることが、各業者単独ではできない生産性の向上や流通ロス等のリスク回避などに通じる。情報のデータ形式の共通化は、新たな事業をもたらすと共に、我々の食をより豊かなものにするだろう。

多機能化小型化が飛躍的に進む次世代センサ

M E M S (Micro Electro Mechanical Systems) の農業分野への応用も十分な有用性が考えられる。M E M S の利点は多機能化と小型化の両立であり、農業現場で求められるセンサデータとしては、土壌中の pH、温度、電気伝導度、水分量、また水耕栽培においては循環水系に存在する複数のイオン種の濃度や菌濃度などがある、現場においては性能よりもコスト重視の傾向が高く、試作段階や開発途上にあるものが多いが、注目すべき技術を以下に三点紹介したい。

豊橋技術科学大学の澤田和明教授らは、pH、温度、電気伝導度の三種の異種センサを統合する製造するプロセス技術を考案し、マルチモーダルセンサの開発を行っ

ている^{※1}。5 mm角の基板上に集積した小型センサを用い、根の近傍からの局所測定や、多数配置することで空間分布の評価などを行っている。東京大学の鳥居徹教授らは、培養液の成分を測定するマルチイオンセンサの開発を行っている^{※2}。センサ部分は、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 $H_2PO_4^-$ 、 NO_3^- 、 NH_4^+ のイオン選択性電極膜を絶縁フィルムに塗布して作成している。東京大学の山田一郎教授らは、水耕栽培の循環水を対象に菌濃度センサの研究を行っている^{※3}。低濃度の測定や菌とそれ以外の微粒子との識別が可能などの要求機能に対して、液中に含まれる微粒子（複数の細菌や砂など）を誘電泳動により分類し、対象の菌のみを計数するリアルタイムセンシング手法を提案している。これらのように生育環境のデータを取得できれば、農作物のおいしさや農薬散布状況など安全に関するデータと合わせ、トレーサビリティに貢献することであろう。

さて、農業分野でのセンサ応用の難しさは、単にデータを取るだけではなく、長期に渡り蓄積し多角的に分析することで何かしらの知見が見えてくることにある。

よって、多次元データのマイニングなどソフト技術（各センサのキャリブレーション、ノイズのクレンジングを含む）とセットで考えていく必要がある。また、植物工場やハウスなどの施設園芸においてはセンサデータ活用 of 明確なニーズがあるが、露地栽培における潜在的ニーズに対しては、生産から販売までを一貫するシステム（アンビエントサプライチェーン）の中でセンサ技術の投下を考えていく必要がある。

MEMSセンサの将来展望としては、ディスクリートなセンサの集積化は当然の流れとして、多地点からデータを収集する際の無線センサネットワーク対応、自己給電、シングルユース（使い捨て）を想定した環境低負荷材料を用いたプロセス開発などの多様な技術研究が必要になると考えられよう。

画像計測で植物の健康状態をチェック

植物工場等で収益の向上を図る方法として、栽培期間を短縮し生産効率を高める

方法がある。リーフレタスの場合、適切な温度管理の下、定植後に光を二四時間照射することで、約二週間で収穫が可能となる。しかし、急激な成長時のカルシウム不足などに起因する生理障害であるチップバーンの発生に注意が必要となる。

植物の健康状態を把握できれば、このような生理障害が発生する前に対処が可能となる。植物の健康診断として、クロロフィル蛍光画像計測を利用した方法が提案されている^{※4}。光合成では、照射光全ての光エネルギーを光化学反応に用いることができないだけでなく、熱として放散されるか、照射光よりも長波長の光であるクロロフィル蛍光を発光する(図3-1-2上)。この蛍光強度は、時間ごとに複雑に変化し、これを蛍光誘導曲線と呼ぶ(図3-1-2

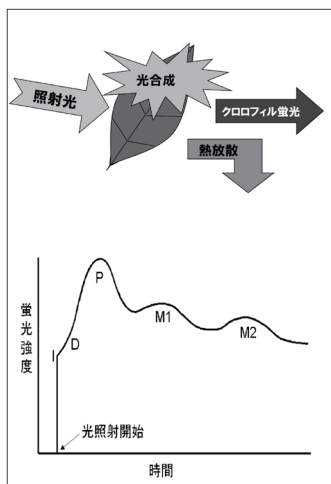


図 3-1-2

下)。蛍光誘導曲線は複数のピークが表れる特殊な形状をしており、ピークごとにそれぞれ光合成の機能に深い関係があるとされている。画像計測により、蛍光誘導曲線の変化を把握することで、外見上では発見することのできない環境ストレスによる生理機能の変化を早期に発見することが可能となる。

ビジョンを使って葉っぱの日当たりを管理

施設園芸における生産性を向上させる方法として、季節(天候)に合わせて栽植密度を最適な状態に調整することで株当たりの収量を増加させる手法が考えられる。^{※5} この一手法として、葉面積指数(LAI)管理法(植物群落管理法)が挙げられる。LAI管理法は、季節や緯度によって強度や入射角が大きく変動する太陽光に合わせて植物群落としての光利用効率もしくは光合成効率を最大化する栽培方法である。図3-1-3は、植物群落内に測定対象物を設置し、その映像情報を手掛かりに群落内の光環境(照度と光質)を低コストに算出する群落内光環境画像計測システムを

示したものである。本システムにより、トマトのような複雑な群落構造における光環境、植物群落全体の構造、そして光合成状態を把握することが可能となる。様々な光環境ならびに栽培管理下での光合成能力とその応答反応を学習した上で、このLAI管理法を導入することにより、群落構造の適切な管理が実現でき、安定的な高効率生産が可能となる。

食の安心・安全の姿を変える分子センサの可能性

食はその取得により人間に恩恵を与えるだけでなく、食中毒など細菌による害を与えることも

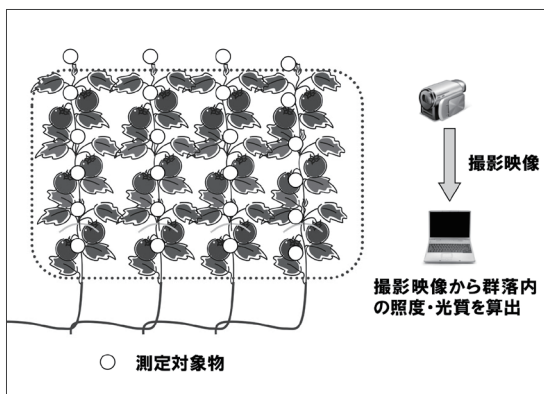


図 3-1-3

ある。この人間への直接的なリスクに対応出来る効果的な食の安全・安心ソリューションはまだ見られない。その理由のひとつに、安全性を確認するための時間がかかりすぎ被害を予測できないことが挙げられる。ファミリーレストランや給食などはセントラルキッチン化が進む。このとき、図3-1-4に示すように、例えば調理から一〇分でリスクが判明するだけでも相当の安全が保証できるだろう。

このセンシング時間短縮と感度を両立しうる技術として、アプタマを用い

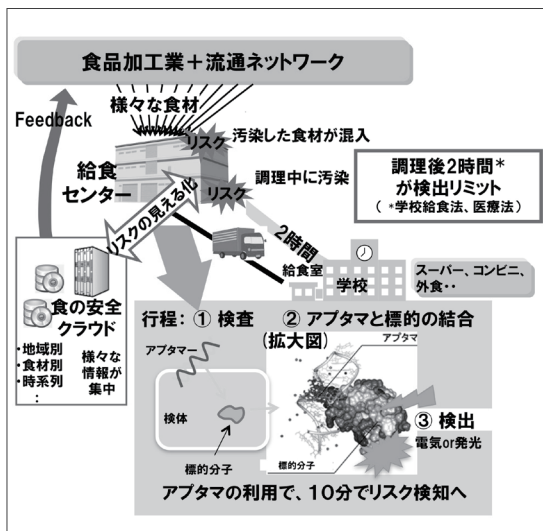


図3-1-4

たセンサがあげられる^{※6}。アプタマセンサは特定のたんぱく質を捕らえて反応する分子センサである。食中毒の原因となる毒素たんぱく質を選択的に捕捉出来るアプタマを用い、捕捉後に起こる蛍光を捉えて毒素の有無を判定することができる。現在は、コストや解析技術が未成熟なため実用には至っていないが、様々な細菌の個別検知も可能で、食の安心・安全の姿を一変する可能性のある技術といえよう。

アグリバイオメトリクスにより偽装を防ぎ安心・安全な農作物を提供

工業製品から農作物まであらゆる商品のサプライチェーンが広域化・国際化しており、それに伴い偽装や模造品による被害が発生している。これらの不正行為は、正規品の販売機会の損失やブランド価値の毀損を引き起こすにとどまらず、農作物においては、私たちの健康を脅かす恐れもあり問題はより深刻である。

このような問題を解決することを目的として、農作物の個体を、その生体情報である表皮紋様を用いて識別する「アグリバイオメトリクス」という技術が提案され

ている^{※7}。この技術では、照合したい農作物の画像を撮影し、その撮影画像から、人間の指紋認証で用いられる特徴（マニューシャ）と互換な特徴を表皮紋様から抽出する。農作物の表皮紋様から抽出された特徴を手掛かりにすることで、指紋と同様に農作物の個体照合が可能となる。出荷時に農作物の画像を登録すれば、誰にでも簡単に農産物を認証できるようになる。アグリバイオメトリクスにより、図3-1-5に示す安心・安全なトレーサビリティシステムが実現できる。

参考文献：

1：M. Futagawa, et al., "Study of a wireless multimodal sensing system integrated with an

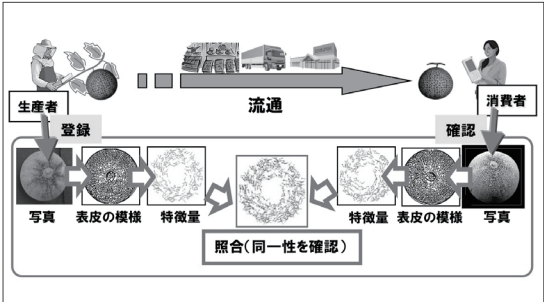


図 3-1-5

electrical conductivity sensor and a temperature sensor for the health control of cows," IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 6 (2) 93-96, 2011.

2 : 山崎 他, "電気化学測定法による植物栽培の培養液測定のためのシングルユー
スマルチセンサシステムの開発," 分析化学, 54 (4) 285-290, 2005.

3 : M. Shuzo, et al., "Dielectrophoresis application for bacteria separation in
hydroponic solution," Proc. 25th Sensor Symposium, 857-858, 2008.

4 : 高山, 仁科, "施設園芸における植物診断のためのクロロフィル蛍光画像計測",
植物環境工学(J.SHITA) 20 (3), pp.143-151, 2008.

5 : 古在, "太陽光型植物工場", オーム社, p.50, 2009.

9 : K. Takoh, et al., "Aptamer-based molecular sensors based on target
induced dissociation of duplex-formed aptamers immobilized with short
complimentary strands," The 38th International Symposium on Nucleic Acid

Chemistry (ISNAC2011) , p.296, 2011.

7. 石山 他,「アグリバイオメトリクス…果紋照合による果物の個体識別」,
VIEW2011 ビジョン技術の実利用ワークショップ, A-5H (11-1) , pp. 21-26,
2011.

第二節 農業×プラットフォーム

エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社

農業×プラットフォーム化（進化の流れ）

① ビックデータの時代

情報社会とは情報が諸資源と同等の価値を有する社会を表し、今まで認識されていた情報とは一見して意味があり、理解できるものであった。近年のストレージ技術やネットワーク技術、クラウド技術などの進歩に伴い、一見して意味のあるかどうか分からないデータまでも大量に測定・収集・蓄積しておき、後ほどこれら进行分析することによって、それらデータを情報として意味づけするというのが行われている。このように利用されるペタバイト級の大量データをビックデータと呼び、

高度なデータマイニング手法で分析することをビックデータ技術と呼ぶ。

センサが測定する情報は単なるデータでその場所その時間の値でしかないが、継続的に定点の情報を収集することを複数個所で実施すると、全体の傾向を知ることや何らかの予測をすることも出来る。更に高度なデータマイニングを行うことで、専門家さえ気がつかない事象の変化への対応（異変を察知する）や、人を介さない意思決定の実現（近未来を予測する）、また、自社や競合他社が今どのような状況かをより正確かつ詳細な把握（今を描き出す）をすることも可能となる^{※1}。

ビッグデータを扱うには、大量のストレージが必要であるが、演算処理能力はそれほど大きいものは必要ではないため、遠隔からの制御に親和性が高く、ネットワークサービスやクラウドサービスが得意とする分野である。また、ビックデータを参照するためのシステムに携帯電話回線など無線を介して操作すれば、モバイル端末等による屋外での利用も実現性が高い。

分散処理技術の進歩により、ビックデータを扱える環境も身近になってきてい

る。現在ネット企業で行われているビックデータの活用を農業分野に応用してみると、圃場に設置した多数のセンサで意味のあるないに関わらず様々なデータを測定・収集・蓄積し、生成された大量のデータ（ビックデータ）をデータマイニングするということであり、うまく分析することができれば、生産性の向上や品質の向上、省エネルギーなどに寄与することができないか。

今までに蓄積された生産技術などの知識でもある程度のアプローチが解析されていて、それが匠や篤農家の技術（暗黙知）として高収量・高品質などを実現しているとも言える。他産業で実現できているように、今後、より革新的・飛躍的な向上を求めるのであれば、農業分野においても見える化（形式知）を推し進める必要がある。そのためには早急にビックデータの蓄積を開始、データマイニングに足るデータ量を確保し、パターン・ルールを発見できる環境を整えることが必要であろう。データさえ蓄積できていけば、後年のデータマイニング技術の進歩による解析も期待できるのではないか。

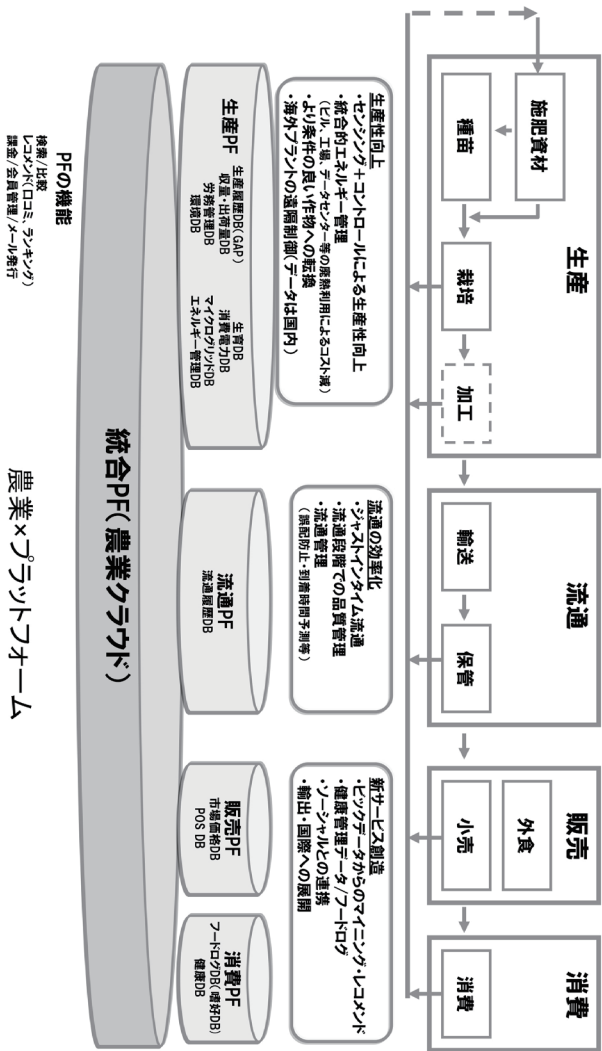


図 3-2-1

② データベースやプラットフォームの活用

他産業では生産・流通・販売・消費の各々で、データベースやプラットフォームが当たり前のように活用されており、効率性や品質、顧客満足度などの向上のために用いられている。これらの事例を農業分野に応用することでも、新しい農業のあり方を見つけることができる可能性がある。つまり生産地や生産者の管理、農薬使用や肥料履歴などの栽培管理をデータベース化し、目的（高収量、費用対効果など）とする生産に適した栽培方法を探し、そのデータベースを消費者に公開して安全性を確認できるようにするなどである。後者は牛肉のトレーサビリティでは実現している。また、大規模農場であれば農薬散布エリアの管理や作業者の動線管理などに活用すれば、作業の重複を防ぐなど効率化にも寄与することができる。複数販売店の総需要量に応じた収穫や流通過程での品質管理、輸送量に基づいた配送効率のよい配送ルート検索など、流通においても役立つことは想像に難くない。

生産・流通・販売・消費の各々で様々なデータベースを充実し、それらを統合・連携するプラットフォームを構築(図3-2-1)すれば、色々な使い道やイノベーションが期待できる。ノウハウの蓄積による差別化とノウハウの一部が共有されることによる高次元での競争が促進され、成長・進化という正のスパイラルが実現するかもしれない。

所有(システム)から、利用(クラウド)へ

東日本大震災で、車や家が流される映像を目の当たりにし、物を所有するとはどういうことを考える機会になったのではないだろうか。車もカーシェアリングや残価設定型リース等で所有しない選択肢も出てきており、所有から利用へのパラダイムシフトが始まってきている。農水省は農業機械のリース支援として、農業者がリース事業者に農業機械の買い入れを求める場合一部金額を助成していたし、三菱農機や一部のJAなどでは農業機械のレンタルビジネスを展開している。農業機械

の場合、必要な時期がある程度決まっていることから、レンタルだと予約が集中して利用希望日に借りられないなどの不都合もあるようである。一步進めてコミュニティで互いに利用日を融通しあうようなシェアリングも一部で検討されている。また、農家が所有するものであった農地も、二〇〇九年の農地法の改正で生産法人等が一定の条件を満たせば、許可を受けることで農地を借りることができるようになった。

当然のことながら、コンピュータの世界では、所有から利用への変化は既に起こっている。メインフレーム（マスタ・スレーブ方式）から始まり、パーソナルコンピュータ（サーバ・オンプレミス・クライアント方式）を経て、現在ではクラウド＋シンクライアントが流行りつつある。

このように時代は所有から利用へと進んでいる（図3-2-2）。

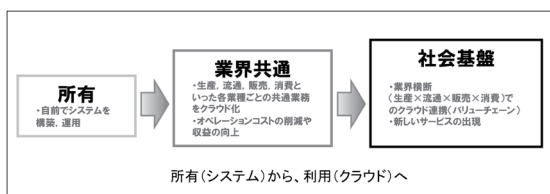


図 3-2-2

垂直統合型から水平統合型へ

垂直統合型とは、一連の業務（生産・流通・販売・消費）プロセスの中心の要素を自社のみで一貫して事業を行うことであり、水平統合型とは、一つの事業を行うにあたってある特定の業務に専門特化し、違う業務に専門特化した企業と連携してその事業を行うことである。

アップルの創業者スティーブ・ジョブズが二〇一一年一〇月に亡くなった。彼は、産業用のコンピュータを個人でも使用できるパソコンとして完成させた。およそ百年前に活躍したヘンリー・フォードと良く似ており、フォード社も当初は社内ですべて生産を完結する垂直統合型の会社で、大量生産で自動車の大衆化を行った。イノベーションが常識を超えているとき、新しい商品に必要な部品が世の中に存在しないなどから自社のみで一貫して事業を行う垂直統合型にならざるを得ない。

しかしながら、本格的なパソコンの普及はマイクロソフトとインテルにより、自

動車の本格的な普及はGMによりもたらされた。これらの企業は多数の会社を束ねることに成功した、水平統合型企業である。これは競争原理を利用して、外部のイノベーションを取り込むことができたためである^{※2}。

先駆的企業は垂直統合型をとる例が多いが普及期には水平統合型になると仮定すると、業務プロセスのいずれかで共通化が行われ、専門特化した部分での競争となる。これによりコストの大幅削減（新規参入コストの低減）や新サービス創出などが実現する。共通化にはデータベースやそれらを統合・連携するプラットフォームが有効であり、現在ではクラウド化ということになる。

プラットフォームビジネス例と仮説

①生産

先ほど例示したアップル社やフォード社のように、農業分野でも当初は垂直統合

型でイノベーションを起こし、その後水平統合型となる動きが出てくるものと推測できる。例えば、生育中のデータを送ることによって、より目的を達することができるようにコントロールする共通的なサービスを提供する企業がでてくるかもしれない。

② 流通

A ジャストインタイム・流通時の品質管理（ビール会社の物流）

一九八〇年前半は、ビール生産において標準化された工程や技術はなく、製造職人やロット毎にばらつきが出ることは当然と考えられていた。近年、製造直後の出来立てのおいしさをいかにして消費者まで届けるかを追求するようになった。ジャストインタイムにより必要な数量を製造して、流通でも温度管理や直射日光の遮断、衝撃・振動を減じる仕組み等を導入している^{※3}。

B サプライチェーンマネージメント（ケンタッキーフライドチキンの物流）

生産量が不規則な鶏肉の安定供給に向けた、サプライチェーンマネジメントシステムを構築し、全国一〇箇所のカット工場、全国一〇箇所の配送拠点と全国一〇〇箇所以上の店舗をクラウドで結ぶことでの確な配送を可能とした^{※4}。

現在の流通では、温度管理されたトラックから温度管理された倉庫に移し換える際に、室温で数時間放置されたりする場合がある。先に例示したビールのように温度変化に敏感な野菜や果物に応用できるのではないか。

また、農作物を必要な時に必要な分だけ配送することができれば、安定した品質で供給でき廃棄されることも減るなど、サプライチェーンの全関係者がWinとなる全体最適が実現できるのではないか。

③販売

昔の百貨店は、そこに行けば何でもある場所であり、仕入れ等も自らが行っている垂直統合型であった。しかし、今の百貨店は、場所をテナントへ貸しており、

ショッピングモール化していて、水平統合型に移ってきている。家電販売では、ヤマダ電機のような大規模量販店は自社のWebサイトで販売を行っている垂直統合型であり、小規模販売店は、楽天やYahooのECサイトを利用した水平統合型が多い。また、ビックカメラのような中規模量販店は、自社のWebサイトとECサイトの両方へ出店しているハイブリッドである(図3-2-3)。

農作物販売では「らでいっしゅぼーや」や「Oisix」は垂直統合型で、家電ほど水平統合化、ハイブリッド化は進んでいない。これはまだ普及期ではないことと併せて、垂直統合型はブラ

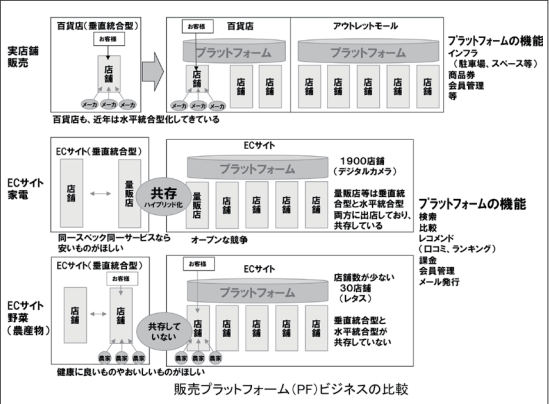


図 3-2-3 (販売) プラットフォーム (PF) ビジネスの比較

ンド化することでもあることから考えられる。

農作物は工業製品のようにスペックが明確になっていないことが多いので、より美味しい、より安心な農作物を欲しい人は、百貨店や有名スーパーの信用で購入する場合が多いのではないだろうか。それはインターネット通販でも同じである。しかしながら、将来、植物工場で作られた農作物のスペックが明確になるような時代にはECサイトを利用する水平統合型が多くなるのではないか。

④消費

消費者同士が互いに教えあい、知識を共有できるSNS（価格・com、食べログ等）はデータベースとプラットフォームで構成されている。

農業分野では、生産者はJAなどの中卸業者に販売するため、消費者の距離が遠く、消費者が見えづらいと言われているが、お店を評価するように生産者や生産地域、特産物などを評価するSNSがあれば、消費者の意見を反映した高付加価値化

や他生産地域との差別化などに役立つのではないだろうか。

プラットフォームの機能としてのレコメンド

(例)

農作物をECサイトで販売するようになれば、そのプラットフォームにはそのために適した機能が必要である。例えば、家庭で利用される野菜は一般的に一〇〜一五種類程度で、その組合せや調理方法を変えることで料理(目的)として供される。従って農産物は従前の同時購入のレコメンド(Aを買った方はBも買っています)では用をなさない。目的や現状(冷蔵庫の中身、季節など)

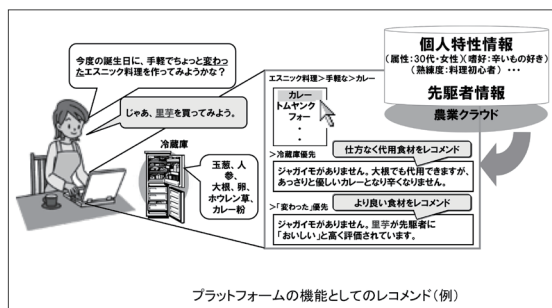


図 3-2-4

に合わせて、個人特性（属性、嗜好、熟練度など）の様々な観点に先駆者の意見も取り入れた、人間の感性に合うレコメンドを提供する必要がある（図 3-2-4）。今後農作物を EC サイトで取り扱う時代には色々な機能が開発されているかもしれない。

参考文献

- 1 : 日経コンピュータ 2011/9/15 号
- 2 : プレジデント 2011/12/5 号
- 3 : ロジステイクス・ビジネス 2002/2 月号
- 4 : IT Leaders 2009/8 月号

東京大学アンビエント社会基盤研究会

農林環境ワーキンググループ

エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社

上田直希、馬場覚志、増谷正人、松浦秀嗣

住友電気工業株式会社

池口直樹、細谷俊史、村瀬亨

日本電気株式会社

荒井観、金井順子、芹沢昌宏、塚田正人、
橋本雅伸、三橋秀男、萬伸一

富士フイルム株式会社

川合浩司、鷺巢信太郎

東京大学

先端科学技術研究センター教授 森川博之

工学系研究科教授 山田一郎

農学生命科学研究科教授 大政謙次

農学生命科学研究科講師 細井文樹

工学系研究科助教 酒造正樹

農学生命科学研究科助教 清水庸

2012年3月30日 発行

著者：東京大学アンビエント社会基盤研究会
農林環境ワーキンググループ