

先進的な農業の未来図

深野 照日

ワンダーニュース

2016 年 6 月 1 日



目次

はじめに	1
第1章 農業を取り巻く現状	2
収量増と肥料	2
米国の農業生産コスト	2
日本の現状	5
日本の農業の生産コスト	7
第2章 精密農業 (PA)	10
精密農業 (PA) とは	10
要素技術	10
ボトルネック	12
可変コントローラー (VRT)	13
.....	
将来の見通し	15
参考文献・資料	16

先進的な農業の未来図

はじめに

最先端の IT、センシングおよび機械システムを駆使する精密農業 (Precision Agriculture 以下、「PA」) は農業に変革をもたらすと期待されている。世界の人口が増え続ければ、農作物の需要はさらに高まる。一方で、農地の供給を増やす余地は限られている。収量増と収益性の改善は各国の農業生産者が抱える共通の課題だ。収量を減らさずコスト削減が図れる技術が長年求められていた。

欧米が期待を寄せ、連綿と開発が続けられた技術が PA だ。PA では GPS、空間情報、農機および圃場内に設置したセンシングデータなどを活用して農作物の栽培を管理する。PA は 1990 年代初頭、欧米の大規模経営農家の注目を集めた。それから四半世紀あまりの歳月を経て、PA の技術は一部が実用化され、省力化で効果を発揮している。未来図として描かれていたテクノロジー主導型の農業が現実のものになりつつある。

許可なく転載することを禁じます。

ワンダーニュース(wonder-news.com)およびブループラネット研究所(BPI)が運営するサイトに掲載しているコンテンツの著作権は当社、情報提供者または正当な権利を有する第三者に帰属します。この場合、コンテンツとは記事およびデータをさします。本書に記載されている内容を引用、参照および(または)参考にする場合は、出所を明示することが求められます。

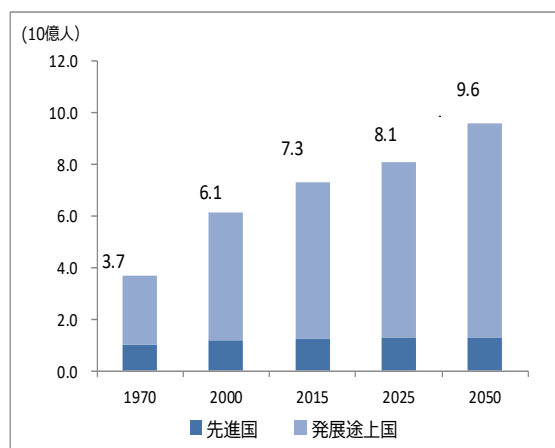
ワンダーニュース(wonder-news.com)、ブループラネット研究所(BPI)

第1章 農業を取り巻く現状

収量増と肥料

世界的な人口増加と食生活の変化により穀物需要は増大している(図1)。農作物を増産するため肥料の消費量も増加の一途をたどる(図2)。農業生産者は化学肥料を大量にまき、害虫や作物の病気を殺虫剤で駆除することで作物増産に大いに貢献してきた。今では肥料を入れないと収量が減ってしまうのではないかと危惧する生産者は多い。世界の肥料消費量は2011年には約1億8,800万トン、このうち肥料消費量が最も多い国は中国で全体の3割を占める。次いでインド15%、米国10%の順だ。

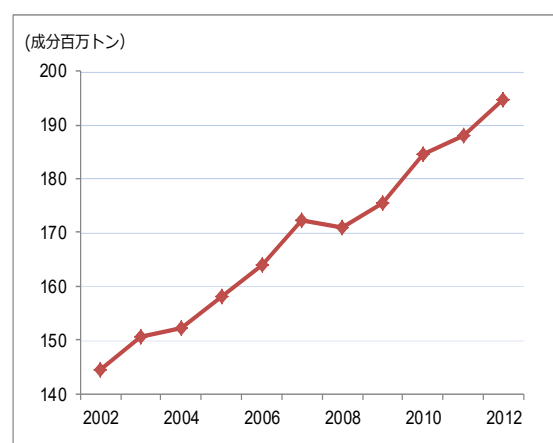
図1 世界人口の見通し



出所: United Nations "World Population Prospects: The 2015 Revision"

注: 2015年以降は予測値

図2 世界の肥料消費量



出所: FAOSTAT

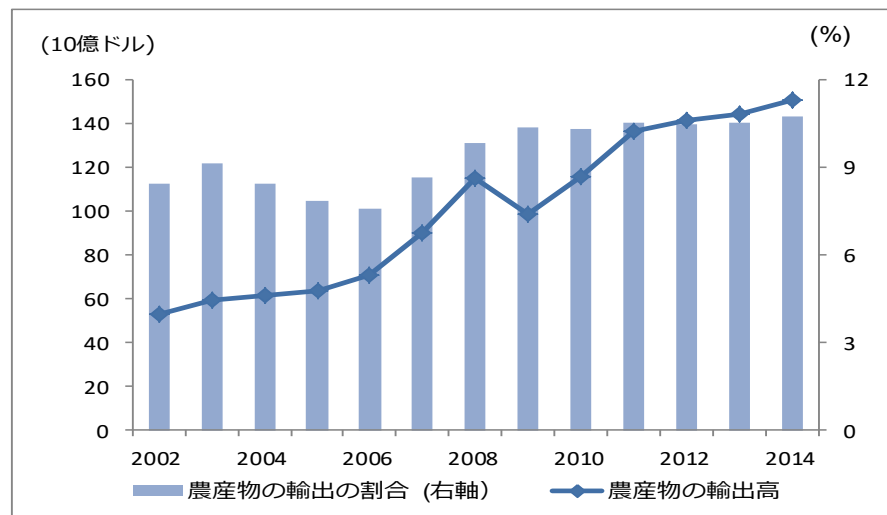
注: 数値は窒素、リン酸、カリ成分の合計

米国の農業生産コスト

大規模経営が主流の米国の農業生産者にとって、収量増と収益性の改善が確実に見込めるかがPA導入のカギを握る。2009年を除き米国の農産物の輸出は伸び続けており、2008年以降米国の輸出総額の1割を占めるまでになった(図3)。2012年の米国の農業生産コストの内訳をみると肥料と化学品(農薬、除草剤および殺虫剤)を含

む)は各々全体の10%未満だが、伸び率をみると過去10年で急増している(図4)。なかでも肥料のコスト増が顕著だ(図5)。

図3 米国農産物の輸出高と全輸出額に占める農産物の割合



出所：USDA

図4 米国の農業総生産コスト(2012)

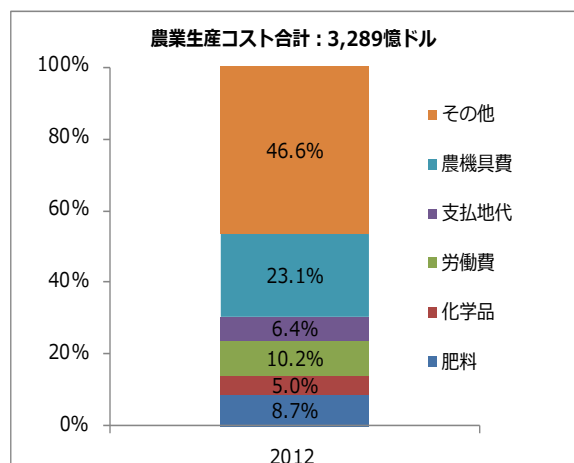
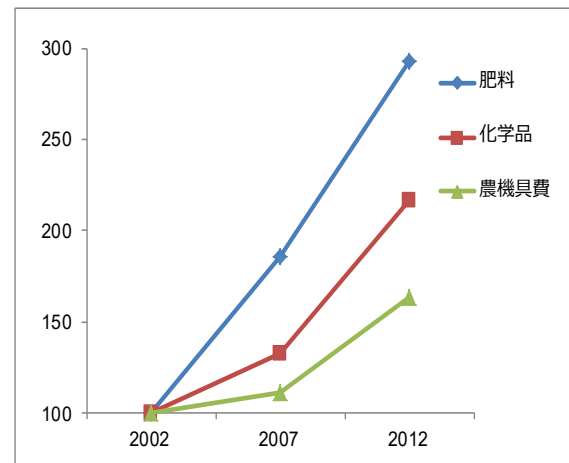


図5 農業生産コストの推移 (2002=100)

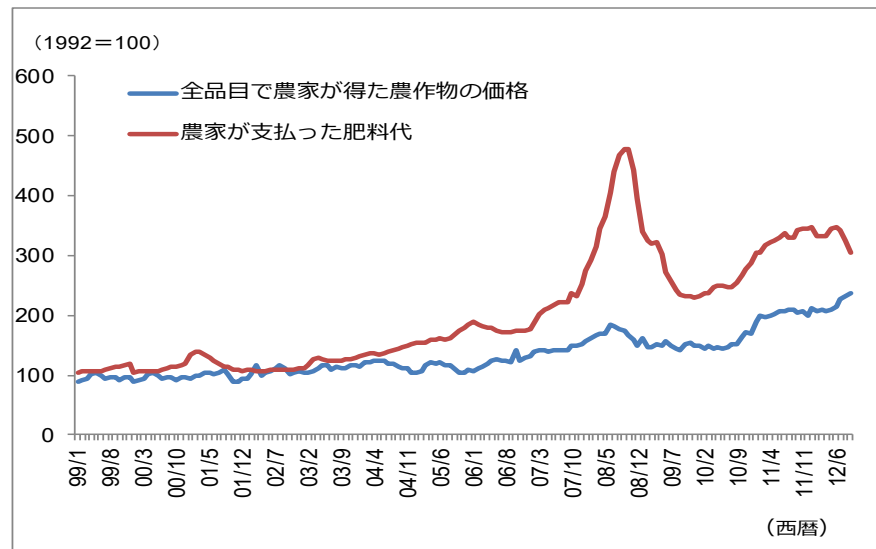


出所：USDA, National Agricultural Statistics Service, "2012 Census of Agriculture- United States Data"

注1) 農業生産コストは農産物および畜産物の生産にかかるコストの合計

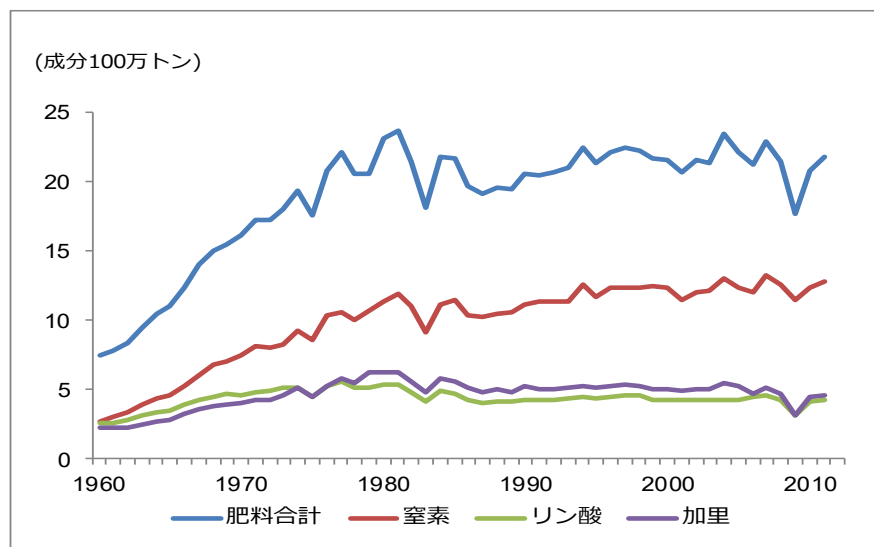
注2) 農機具はガソリン代、保守・修理費、機械のリース料、金利および減価償却費を含む。

図6 農家が支払った肥料代と全農産物の価格動向（月次ベース）



出所：USDA Economic Research Service using data from USDA-NASS, and Bureau of Labor Statistics

図7 米国の肥料消費量



出所：USDA, Economic Research Service, using data from Association of American Plant Food Control Officials and The Fertilizer Institute.

肥料のコスト増が農家の利益を圧迫する。農業収入とコストの関係をさらに詳しく見ていくと、2003 年以降、農家が支払う肥料費の伸びが穀物価格の上昇率をはるかに

上回って推移する(図6)¹。近年では2008年に肥料の原料となる天然ガスの価格高騰が肥料価格を大きく押し上げた。

米国は肥料のなかでも特に窒素肥料の消費量が圧倒的に多い(図7)。窒素肥料は原料の大半がアンモニアで、そのアンモニアの主原料が天然ガスだ。2008年7月に米国産WTI原油の先物価格が1バレル145.29ドルの史上最高値をつけると原油価格に連動する天然ガスも急騰した。

米農務省によると肥料価格の高騰を受け、農業生産者は肥料の使用量を1,800万トンにまで大幅に減らした。2009年以降、米国でシェールオイルが産出されると、肥料の原材料コストは低下した。2010年に肥料価格は底を打ち、2011年以降ふたたび上昇に転じる。商品市場で穀物価格が上昇し、既存の農地で収量を増やそうと肥料需要が増大し、価格を押し上げた。

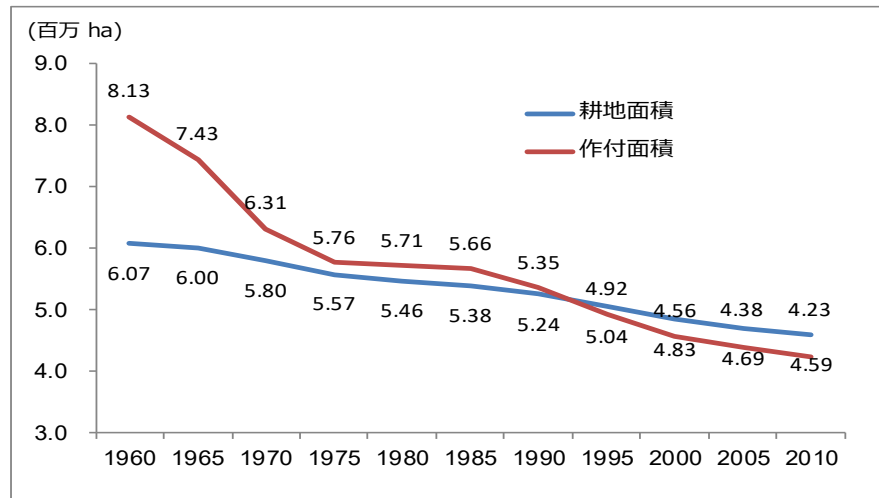
リン酸やカリ肥料にくらべて米国で窒素肥料の消費量が多いもう一つの理由は、窒素肥料により望ましい反応を示す種子が開発された影響が大きい。さらに肥料を大量に消費するトウモロコシ(米国の肥料消費量の4割を占める)の作付面積が増えたことも肥料消費量全体を押し上げている。

日本の現状

日本政府は農業の新たな担い手を増やすため法人参入を促す一方で、農地の集積・集約化を目指している。日本では農家の後継者不足と農業の担い手の高齢化が深刻になっており、耕地面積は減り続けている(図8)。このままでは日本の農業は衰退し、生産量の減少と農産物の価格上昇が懸念される。2009年に改正農地法が施行され、一般法人などが農業に新規参入する際の規制が大幅に緩和された。この改正を受け、2009年から2012年までの3年間で新たに1,071の法人が農業に参入した。政府の計画では2025年までに法人経営体数を5万法人とする目標を掲げているが、2012年以降法人数の伸びはほぼ横ばいが続き2013年では1万4,600法人にとどまる(図9)。

¹ USDA, "Chemical Inputs", <http://www.ers.usda.gov/topics/farm-practices-management/chemical-inputs/fertilizer-use-markets.aspx>

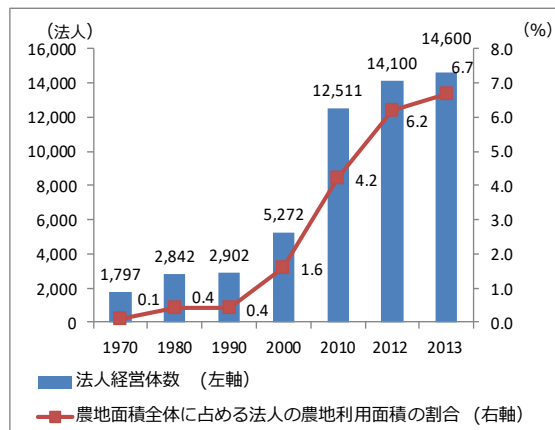
図8 日本全国の耕地面積および作付面積の推移



出所：「耕地および作付面積統計」農林水産省

図9 農業法人数と農地面積に占める利用

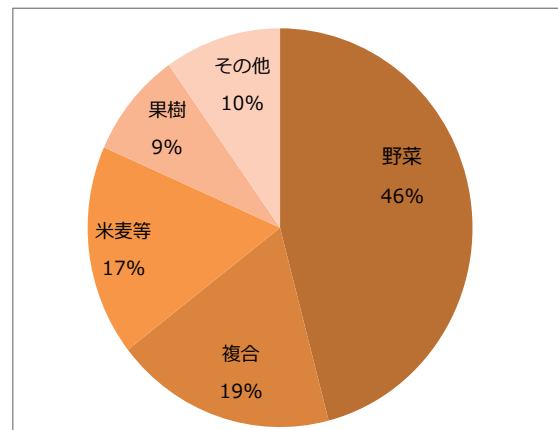
面積の推移



出所：農林水産省

図10 新規参入した企業が育てている作物の

割合



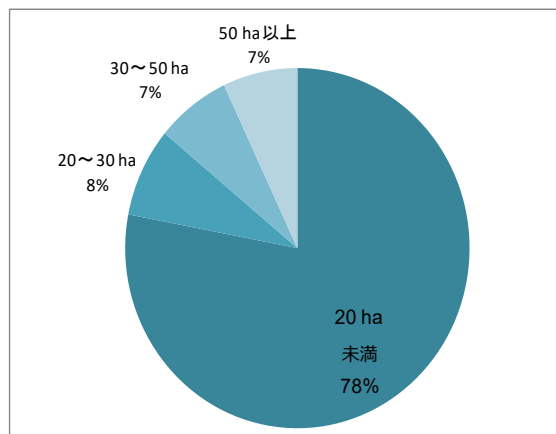
注1)「米麦等」は、米、麦、そば、大豆、小豆等。

注2)「複合」は2種類以上の作物を栽培している法人。

新規参入した法人を業種別にみると食品製造業と食品卸売業が最も多く、次に建設業が続く。食品製造業と食品卸売業は「原料の安定確保」や「本業商品の付加価値化、差別化」を目的に農業に参入している。また、建設業では「経営の多角化」や「雇用対策(人材の有効活用)」が参入した主な理由だ。参入した法人が生産する農作物は野菜が最も多い(図10)。日本の経営法人の耕地面積を見ると20ha未満が8割近く

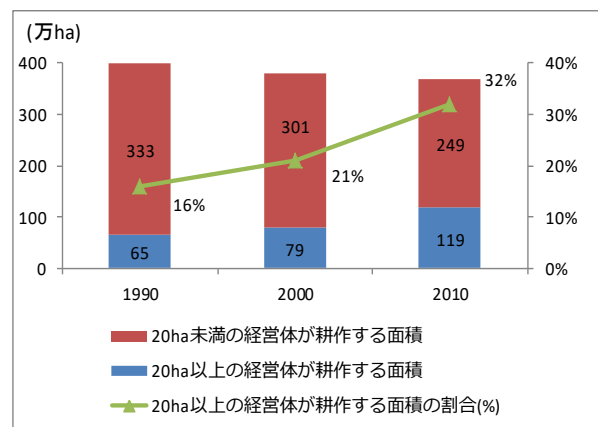
を占める(図 11)。ただし米や麦だけに限れば 20ha 以上の農業経営体が占める割合は増加している(図 12)。法制度の整備、予算配分、農地をめぐる地域の関係者間の話し合いには時間を要するため農地の集積・集約の進展はゆるやかなものになると予想される。

図 11 経営法人の耕地面積の規模 (2010)



出所：農林水産省

図 12 20ha 以上の経営法人が耕地面の割合



出所：農林水産省

注：米と麦のみ

日本の農業の生産コスト

肥料の原料となる資源価格の動向が生産者の利益を左右する。コメの生産コストの内訳をみると肥料と化学品(農薬剤)は各々7.9%、5.6%を占める(図 13)。肥料に関しては、肥料の原料である鉱物資源と天然ガスの高騰の影響を受け、2009 年には肥料価格が上昇した(図 14)。塩化カリ、リン酸アンモニウムとリン鉱石といった肥料原料を日本は海外からの輸入に頼っている。例えば最も輸入量が多いリン鉱石と加里鉱石の輸入国の内訳は図 15と図 16 の通りだ。リン酸アンモニウムは7割強を米国から輸入している。

図 13 10a 当たりコメの生産コスト（全国）

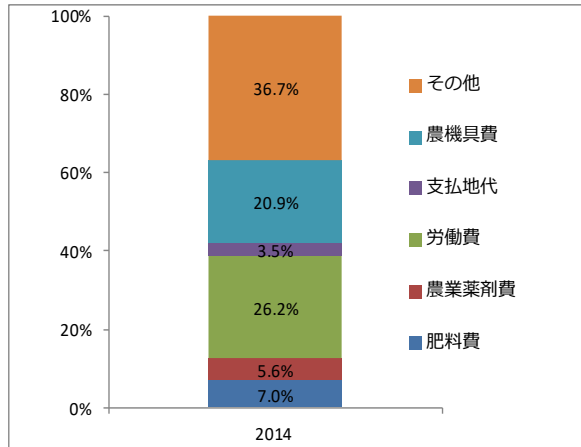
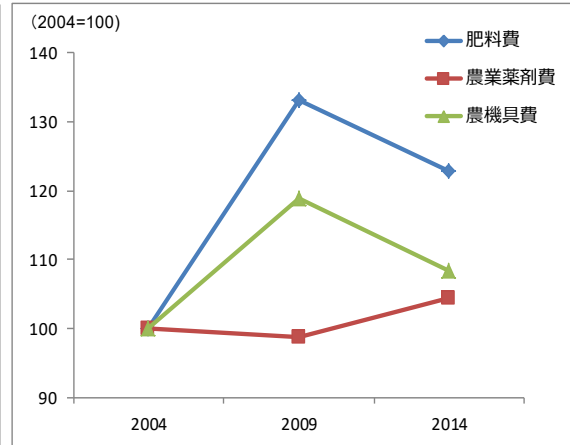


図 14 コメ生産コストの動向



出所：「米生産費・全国農業地域別」農林水産省

図 15 リン鉱石の産出量（2008）

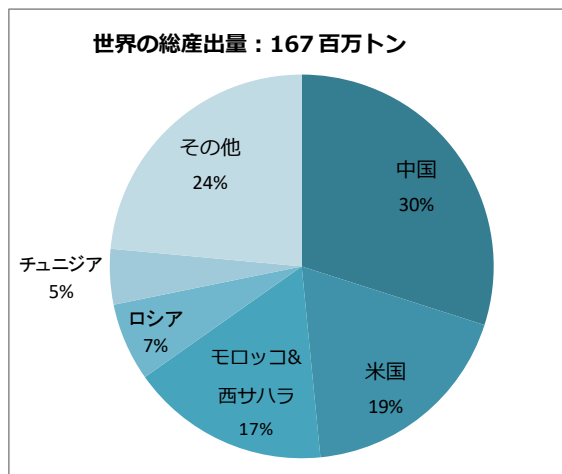
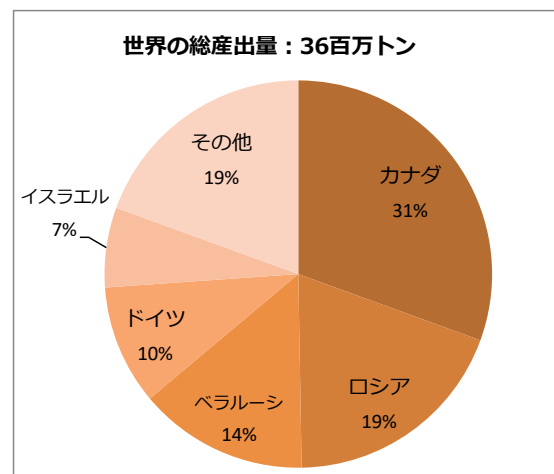


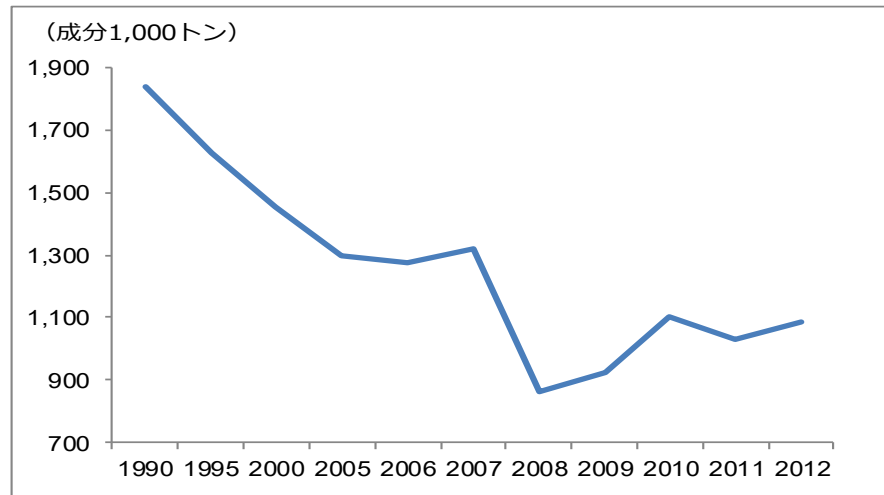
図 16 加里鉱石(塩化加里)の産出量（2008）



出所：USGS Mineral Commodity Summaries (2008)

資源の産出国は偏在し、供給側の寡占化により産出国が価格決定力を持つ(図 15、16)。実際、商品市場では 2007 年末からおよそ一年あまりにわたってリン鉱石および尿素など肥料の原料価格が上昇した。背景には中国がリン鉱石の輸出制限を強めたことで原料供給がひっ迫し、価格高騰を招いた。リーマンショック後、市況は落ち着きを取り戻したが、生産者には肥料のコスト増の懸念は残ったままだ。

図 17 化学肥料の国内需要量合計



出所：農林水産省

肥料価格の高騰を受け、2008 年から 2009 年までの 2 年間にわたり、生産者はリン酸および窒素肥料の消費量を減らす取り組みを行った(図 17)。作付面積が減少すれば本来なら肥料の総需要量も減るはずだが、2010 年以降むしろ増加傾向にある。これは生産者のあいだで肥料および農薬の使用量を増やしていることを示唆する(図8、14と17)。

青果とくらべ農機の活用が進むコメの生産コストの内訳をみると、労務費の占める割合が 26.2%(米国の 10.2%)と大きい(図4と 13)。米国では、農機具への設備投資が労務費の抑制に寄与しているのに対し、日本では農家による設備投資がかならずしも生産性の向上に結びついていない可能性がある。

第2章 精密農業(PA)

精密農業(PA)とは

センシング、IT および機械システムを融合し作物の栽培管理を行うのが精密農業(以下、「PA」)だ。GPS を使ってトラクターなど農業機械の正確な位置を測位し、車両の位置を調整して農機のオペレーターに正しい走行経路をガイドする。

人工衛星に搭載したセンサー(リモートセンシング)で上空から植物を広範囲に撮影した画像データを収集すると、肉眼では確認できない作物の生育状況やたんばく質の含有量および土壌水分などの分析が可能になる。さらに衛星データと圃場の位置情報をリンクするとモニター画面で圃場内の作物の生育のばらつきが見て取れる。圃場内に設置したセンサーからは日射量、土壌の温度、水分をはじめとする作物周辺の気象データ(微気象)が収集される。また、トラクターなど農機に設置したセンサーからは圃場内の各箇所の土壌や収量データを収集する。ドローン(小型無人機)が撮影した作物の画像データおよび生産者がスマートフォンやタブレット端末を使って撮影した観察記録はサーバーに送信されデータベースに蓄積される。

これら膨大なデータ(ビッグデータ)を解析し、各作物の生育モデルをつくる。生育モデルと気象予報データを融合しサイバー空間でシミュレーションすると生産者が播種、施肥、農薬の散布、水管理、収穫の最適期を判断するのに役立つ。さらにシミュレーション技術を活用することで生育量、収量・品質の予測も可能になる。PA には気候変動による農作物への被害を軽減する効果も期待されている。

農機に設置したセンサーから取得したデータを収集・解析し、農機の異常予兆を検知し、故障を予測する。予知保全が実現できれば収穫期の繁忙時に農機の故障による経済損失(収穫作業の遅れ、穂発芽やコメの銅割れなどの品質低下による収益の減少)のリスクを軽減できる。

要素技術

PA はセンシング技術や過去のデータに基づくきめ細やかな栽培によって収量増と高品質生産を実現し、大幅な生産性の向上を目指すものだ。実用化されている PA の

主だった技術は表 1 のとおりだ。

表 1 PA の主要な技術

要素技術	英語名	詳細	価格 (US\$)
自動操舵システム	Auto Steer	<ul style="list-style-type: none"> トトラクタが走行ラインから外れると、自動操舵システムが車両の位置を調整して正しい走行パスに沿うように合図を出すので、オペレータによる人為的ミスを減らすことができる。 	10,000 - 60,000
GPSガイダンスシステム	GPS Guidance System	<ul style="list-style-type: none"> GPSによりトラクターの正確な位置を測位してリアルタイムにモニターに表示し、農作業を行う際に事前に設定した走行経路をガイドする、いわば「農作業用カーナビ」とも言えるシステムで、効率的な運行と繁忙期には夜間の運転に効果を発揮する。 オプションを装着することで、ハンドルの自動操舵や作業完了範囲のマッピング、作業履歴データの管理なども行える。 システムによっては肥料や農薬を散布した箇所や日付を記録できる。 	2,000 - 40,000
収穫モニター	Yield Monitor	<ul style="list-style-type: none"> 圃場内で場所によって異なる収穫高を示す地図情報を表示するシステム。 収穫時には農機に設置したセンサーが圃場内の場所によって異なる土壌および穀物の水分（穀粒水分）などのデータを収集し記録する。 	4,000 - 7,000
可変コントローラー	Variable-Rate Technology (VRT)	<ul style="list-style-type: none"> 土壌の肥沃度や作物の生育状況のセンシング情報と前作の収量や品質情報をもとに、圃場内の各々の区画に種をまいたり追肥や農薬などの散布を適時、適量、適切に可変制御することで圃場内における生産のバラツキを是正する。 施肥、商品先物市場で大量に取引される穀物の種まき或いは農薬剤の散布に使用される。 	NA

農機に関連する PA の主要要素技術が自動操舵システム、GPS ガイダンスシステム、収穫モニターおよび可変コントローラー（以下、「VRT」とする）だ。米国では農作業を

請負う事業者のオペレーターが自動操舵システムと GPS ガイダンスシステムを導入する割合は 2008 年時点では 28% だったが、2009 年には 56% とわずか 1 年で 2 倍に拡大した。収穫モニターにいたっては農業機械やコンバインなどに標準搭載されている²。

自動操舵システムと GPS ガイダンスシステムを導入するメリットは、労務費の抑制効果が見込めることだ。両システムは播種、耕うん、農薬の散布などの作業を行う際に使用される。農業の大規模経営では経験豊富な農機オペレーターの確保が難しい。しかし、両システムを使用すれば、予め設定した経路をトラクターが走行するので農機の運転経験の浅いオペレーターでも操作しやすい。また就労者の疲労を軽減するだけでなく、予定通りに農作業を終えられるなど生産性の向上にもつながる。さらに農機による土壌の圧密を最小限に抑え、農作物を踏みつけるなどのダメージを減らせるといった効果も見込める。

ボトルネック

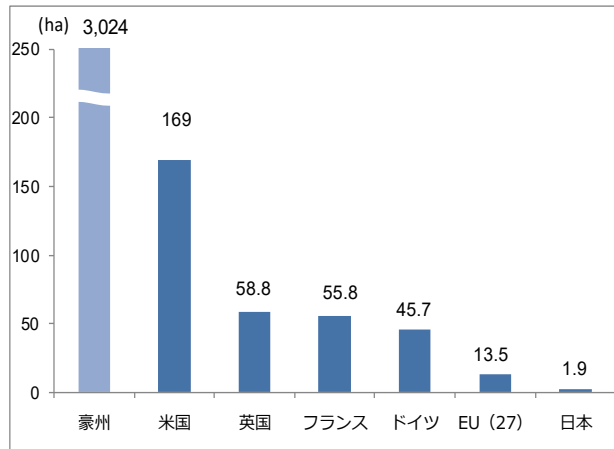
収量増につながると生産者が確信できれば PA 普及に弾みがつく。PA の恩恵を受けると目されるのが特定の作物・穀物を大量生産する大規模経営体だ。しかし、欧米では PA 導入をためらう生産者が大勢を占める。初期投資負担が重く、費用対効果が実証されていないためだ。

大規模経営体であっても初期投資の負担は重い。例えば自動操舵システムは精度や機能に応じ安価(10,000ドル以下)なものから高額(60,000ドルを上回る)なものまで価格帯は幅広い。GPS ガイダンスシステム(2,000~40,000 ドル)も同様だ。位置測定の精度や機能が価格に比例する。欧州では 100~300 ha の耕地面積があれば自動操舵システムと GPS ガイダンスシステムの投資を回収できたという調査結果がある。

一戸あたり 100 ha 以上の耕地面積を持つ農家を国別に見てみると PA の有望市場はオーストラリアと米国の2カ国しかない(図 18)。米国の事例をさらに詳細にみていくと、100 ha 以上の農地を保有する農家数は全体の 3 割ほどにすぎない(図 19)。米国の「2012 年農業統計調査」によると米国の農家一戸当たりの耕地面積は 5 年まえの 418 エーカー(169 ha)から 434 エーカー(175 ha)に拡大。農地の大規模化が進む米国では十分な経済的効果が見込めれば PA を導入しようという潜在需要がある。幅広い価格帯のサービスや製品が揃えば導入スピードが加速する土壌も整っている。

² USDA, "On the Doorstep of the Information Age", August 2011

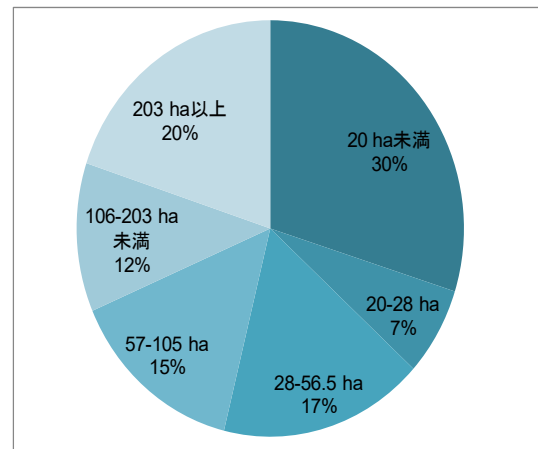
図 18 農家一戸当たり耕地面積



出所：農林水産省

注：日本(2009年)を除く各国は2007年のデータを使用

図 19 米国:耕地面積別農家数の割合 (2012)



出所：USDA, "2012 Census of Agriculture"

安価な農業用センサーの開発も課題だ。農業用センサーの市場規模がまだ小さいため商品化されているセンサーの値段が高い。センサーの改良と量産化による低価格化がPA普及の後押につながりそうだ。

可変コントローラー(VRT)

可変コントローラー(VRT)が実現すると生産者にとっては農作業の省力化、さらには肥料や農薬の使用量が減り、コスト低減につながる可能性がある。例えばセンシング技術で上空から作物を広範囲に撮影すると人工衛星に搭載したセンシングでは50cm～10メートル、ドローンに搭載したカメラを使えば2cm～10cmの空間解像度で作物の生育状況の観察・診断が可能だ。地上では圃場内数か所に設置したセンサーから日射量、土の温度や水分量をはじめとする作物周辺の気象データ(微気象)を収集し、分析する。

前作の収量や品質情報など過去のデータとセンシング情報で得た土壌の肥沃度や作物の生育状況のデータをもとに、農機で施肥や農薬を適切に「可変制御」し、圃場内の収量や土壌のバラツキを是正する技術がVRTだ。VRTは、肥料・農薬の使用量やコストを減らせるだけでなく、環境への悪影響を最小限に抑えられるとの期待が大きい。

耕地面積が小さいあいだは、例えば圃場の隅の作物の生育、収量および品質について生産者が熟知しており、その区画の土壌や作物の生育状況に応じて肥料、農薬を適時、適量、適切に投入するなどの対応が図れる。しかし、農地の大規模化が進み、圃場が分散するとそういった緻密な栽培は困難だ。実際、大規模経営者の多い米国では土壌、水分、除草および生育状況を平均化し一律な対策をとる。その結果、圃場内の所々で除草剤、殺虫剤、水管理や肥料などが過剰あるいは不足するといったバラツキが生じる。特に農薬や肥料を過剰に投入すると、田畑の土壌から地下水や地表水に漏れ出し、生態系に悪影響を及ぼす恐れがある³。

欧米では大規模経営を行う農業生産者のあいだで VRT の実証実験を行っているが、VRT の費用対効果は実証されていない。例えばドイツで VRT を試みたところ、耕地面積によっては収量を維持しつつ 10～15%窒素肥料を削減できたとする検証結果が報告された。一方、デンマークでは VRT の費用対効果はまったく得られていない。米国でもデンマーク同様 VRT の効果(収量増と施肥量の低減)は得られていない。

難度が高いのが土壌の状態や作物の生育状況に応じ施肥量を適時、適量、適切に可変制御するアルゴリズムの開発だ。もともと施肥は農業のなかでも難しい技術のひとつだ。土壌の条件は圃場によってまったく異なる。さらに一つの圃場のなかでさえ場所によって土壌の性質が異なる。作物の養分吸収にもそれぞれ特徴がある。肥料の種類が多く、種類によって肥効が異なるうえ、肥効は土壌や季節によって変化する。

米国で開発された最新の VRT 技術ではリモートセンシング(人工衛星やドローン)データを使わず、圃場内の各箇所の状態に応じて自動的に「窒素肥料」を可変制御するセンサーが開発された。農作物にレーザを照射し、その反射光から農作物の窒素含有量を計測し、生育状況に応じてリアルタイムに窒素施肥量をコントロールする技術が実用化されている⁴。

³ USDA National Institute of Food and Agriculture, "Precision Agriculture in Crop Production", at <https://www.nifa.usda.gov/grants/programs/precision-geospatial-sensor-technologies-programs/precision-agriculture-crop-production>

⁴ TOPCON, 「オートステアリングシステム活用事例」, at http://www.topcon.co.jp/positioning/atwork/agri/201211_morimotofarm_System150_J.htm (as of May 2016)

将来の見通し

精密農業(PA)の試みは「持続可能な農業」に対する一つの解だ。PA 生み出された背景には、米国が世界有数の農業大国であり、穀物輸出国であること、大規模農業者主体の農業が営まれ、米農務省の強力なバックアップなどがある。PAではさまざまな精密技術を駆使して収量を増やし、省力化・省人化による生産性の向上、さらには化学肥料および農薬の使用量減によるコスト削減を進め、利益向上につなげる。主に米国の穀倉地帯でPAの導入率が増えており、PAによる一定の効果が得られているようだ。

PAの潜在需要は、中小規模の農業生産者にもある。PAの導入障壁を下げるには、複数の生産者が共同所有し、初期コストを分担する方法が考えられる。共同所有のメリットは、PAツールの使用方法などの情報をグループ内の生産者が協力し合い共有できれば、新技術の導入効果を早期に享受しやすい。生産者にアプリの使用方法や新技術の研修およびサポートの提供がメーカーおよび(もしくは)大学には求められる。

農業のデータ活用の取組みは、気象災害への適応策という副次的な効果が見込める。農業は天候に左右されやすく、気候変動は農家にとって切実な悩みだ。長雨、高温や渇水は農作物の品質や作柄にマイナスに働く。地球温暖化に適応するには、農作物の選定、使用する機器、管理方法などの見直しが生産者に迫られる。データ収集の担い手は農業生産者だけではない。食料安全保障の観点から農林水産省をはじめ、自治体、農業協同組合、気象庁および(もしくは)気象データサービス事業者、大学などの研究機関、肥料・農薬・種子および農機メーカーとの協力・連携が不可欠だ。

精密農業には改善の余地がある。具体的にはPAの性能向上、データ共有の在り方、費用対効果の定量化などだ。精密農業のツールの開発・改良も進められており、「精密」の追求は今でも続く。

許可なく転載することを禁じます。

ワンダーニュース(wonder-news.com)およびブループラネット研究所(BPI)が運営するサイトに掲載しているコンテンツの著作権は当社、情報提供者または正当な権利を有する第三者に帰属します。この場合、コンテンツとは記事およびデータをさします。本書に記載されている内容を引用、参照および(または)参考にする場合は、出所を明示することが求められます。

ワンダーニュース(wonder-news.com)およびブループラネット研究所(BPI)

参考文献・資料

- 「SIP(戦略的イノベーション創造プログラム) 次世代農林水産業創造技術研究開発計画」 内閣府 2015 年 5 月
- 「肥料をめぐる事情」 農林水産省、2015 年 4 月
- 「ロボット新戦略」 ロボット革命実現会議 2015 年 1 月
- 「スマート農業」 農業情報学会編 2014 年 8 月
- 「日本再興戦略の改定について」 2014 年 6 月
- 「農業経営統計調査 平成 26 年産コメ生産費」 農林水産省
- 「土をみる 生育を見る」 農文協 2012 年 1 月
- 「オートステアリングシステム活用事例」 TOPCON, at http://www.topcon.co.jp/positioning/atwork/agri/201211_morimotofarm_System150_J.html
- “The 2012 Census of Agriculture – United States Data”, USDA, National Agricultural Statistics Service
- “Precision Agriculture: An Opportunity for EU Farmers-Potential Support with the CAP 2014-2020”, European Parliament, June 2014
- “Environment Regulations and Agriculture”, Congressional Research Service, June 2014
- “On the Doorstep of the Information Age — Recent Adoption of Precision Agriculture —”, USDA, August 2011
- “Precision Agriculture: NRCS Support for Emerging Technologies”, USDA, June 2007
- “Using predictive weather analytics to feed future generations”, IBM, at http://www.research.ibm.com/articles/precision_agriculture.shtml
- “Adoption of Precision Agriculture”, USDA National Institute of Food and Agriculture, at <https://nifa.usda.gov/adoption-precision-agriculture>
- 「肥料原料の安定確保に関する論点整理」 農林水産省 2010 年 2 月
- 「耕地および作付面積統計」 農林水産省
- 「農業構造の変化」 農林水産省, at http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h24_h/trend/part1/chap3/c3_1_01.html