

# 第5世代の精密農業

## 日本から発信するコミュニティベース精密農業

東京農工大学大学院農学府 教授 澁澤 栄

### 1. はじめに

農場の新しい管理戦略として登場した「精密農業 (precision agriculture)」あるいは「精密農法 (precision farming)」は、最近10年の間に多方面にわたる波及効果を与えはじめている(澁澤 2009)。例えば、米国では、自然災害対策も含んだ自然環境の包括的保全を推進する「精密保全 (precision conservation)」(Berry et al 2005)が登場し、我が国では「精密施工 (precision construction)」(建山 2002)への活用がはじまっている。本稿では、精密農業の発達史を簡略に紹介し、その技術と運用の仕組みを考察しながら、判断の科学と農業知財戦略にむけての将来展望に触れる。

精密農法と精密農業の用語は、ほぼ同じ意味合いで用

いられており、強いていえば欧州は精密農法、米国は精密農業を用いる傾向がある。その際、精密農法は作物輪作などのほ場管理に力点があり、精密農業は経営管理(ビジネス)に力点がある。本稿では、それらを区別せず「精密農業」で統一する。

### 2. 1990年代から2000年代へ

#### (1) 食料需給の見通し

農業生産の主要目的は、食糧の安定供給にあり、その需給関係の見通しは農業のあり方を決定する。ここでは、ほんの少しだけ食料需給に触れることにする。

まず、過去30年間の世界の食糧需給の一例をご覧いただきたい(図1)。最近10年間の特徴は、生産が需要に追

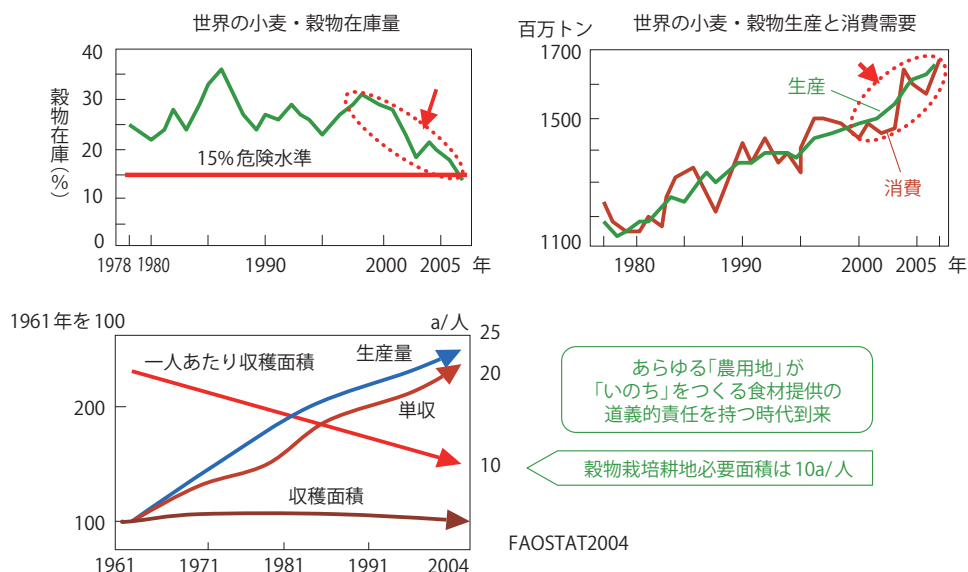


図1 逼迫する世界の食料需給と単収増大技術の必要性

最近10年間の穀物在庫の減少は、消費の増大に生産力が追いつかないことに起因する。生産力向上は単収増大技術の向上による。消費構造の転換と単収増大の維持が進まなければ、人類は食料不足のため破局を迎えることになる。

いつか、在庫が危険水準の15%を下回ったことにある。農地面積は漸減なので、この間の食料増産は単収増大技術に支えられたものだった。しかし、一人あたりの収穫面積が限界面積の10アールまで減少し、世界の食料不足は一触即発の状態になった。市民農園や家庭菜園も含め、すべての農用地が単収増大による食料増産を担う人道的義務が発生したのである。我が国の農業には、世界の中でも優れて単収増大技術が蓄積されており、注目が集まりつつある。

一方、モンスーン気候の中で高度に発達した我が国の農業技術を支えた農業者のほぼ7割が、これからの10年間に離農する。離農者の規模は約二百万人である。国土の自然条件を生かすには小規模分散型ほ場生産がもっとも適しており、離農する農業者二百万人のノウハウがそのまま消滅することを放置するわけにはいかない。

従って、我々は、消失しつつある我が国の高度な農業技術を正確に記録し、そして継承・発展させる事業体を新たに創造するという歴史的課題に取り組まなければならない。

## (2) 精密農業のモード

過去20年間に急速に発達した精密農業には、五つのモードが現れた(図2)。

最初に登場したモードは小区画管理農法であり、収量マップを基礎にして局所的な投入量の調整をめざすもの

である。続いて可変作業機械を代表とする精密農業の機械化の段階であり、局所可変作業農法のモードが登場した。しかし、局所最適化は、必ずしもほ場全体の最適化につながらず、例えば、旧来法に比べて施肥量が増大してしまう事例も紹介されはじめた。そこで登場したのが「精密農業」である。運用可能な技術を用いて農場管理全体を最適化するための「判断」を重視するモードである。「精密農業」の呼称統一は、1996年7月、米国ミネソタで開催された第3回精密農業国際会議にて採択された。最後に登場したのが精密農業の普及をめざしたモードであり、代表的なものが、精密農業米国モデルと精密農業日本モデルである。わが国で研究推進されているのは、この第5世代の精密農業であり、国際的にも最先端の一角を占めている。

## 3. 精密農業のコンセプトと作業サイクル

### (1) 精密農業コンセプトと作業サイクル

精密農業の用語がさまざまな場面で用いられており、一時は先端技術のみを意図する場面も現れたが、現在では高度な農場管理戦略の一つとして理解されるようになった。すなわち、精密農業とは、複雑で多様なばらつきのある農場に対し、事実の記録に基づくきめ細かなばらつき管理をして、地力維持や収量と品質の向上および環境負荷軽減などを総合的に達成しようという農場管理

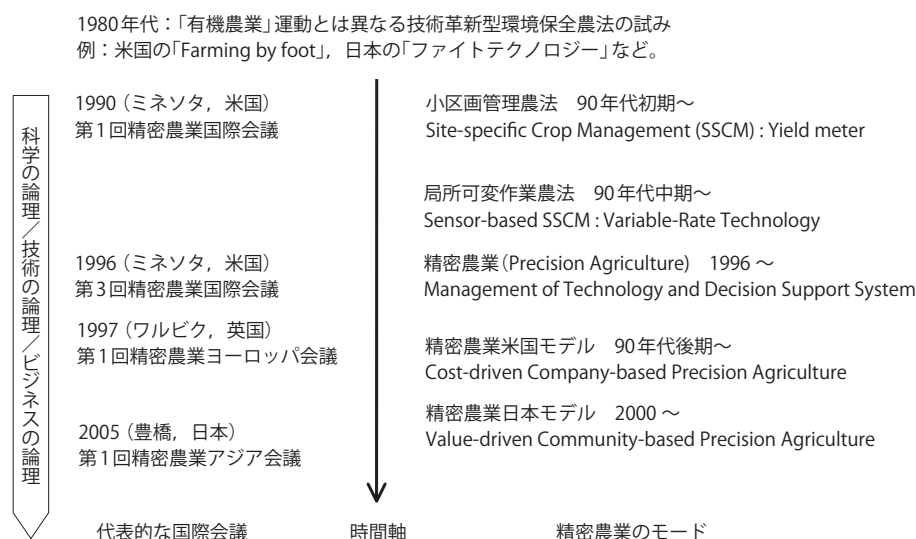


図2 世界の精密農業の五つのモード

1990年代から2000年代にかけて、世界各国で推進された精密農業には、5世代のモードが現れた。国情にあわせて5世代のモードが同時代的に進められている。精密農業の存在様式の多様性が現在の到達点である。

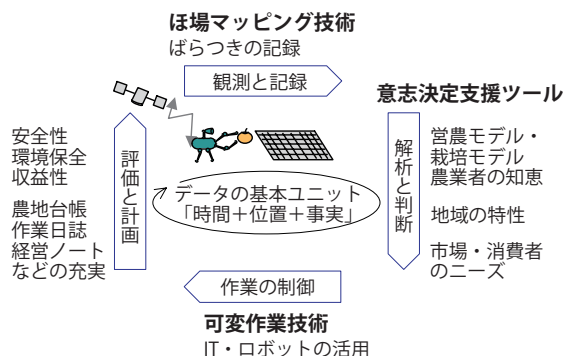


図3 精密農業のコンセプトと農場管理サイクル

農場のばらつきを観測・記録し、事実に基づいて作業判断と管理作業を実施、その結果を評価して管理計画の立案につながる、継続的な経営改善サイクル。ほ場のばらつきがコストにもなるし経営資源にもなる。

とその戦略である（農林水産部会議 2008）。

精密農業の具体的な姿を理解するには、その作業サイクルをみるとよい（図3）（澁澤 2006）。まず、ほ場の空間的ばらつきの克明な記録からはじまる。土壌や雑草あるいは病害虫発生のばらつきである。すでに走行式土壌センサやリモートセンシング技術などを用いて、土壌肥沃度や生育むらなどが精密に観測できるようになっており、それら技術の実用化は間近である。さらに、空間的ばらつきの時間変化を記録することは、作業判断の精度に大きく影響する。

続いて過去の蓄積されたデータや情報を参照しながら、ほ場ばらつきに対応した栽培作物や管理法あるいは作業内容を決定する。例えば、期待される肥沃度のある土壌には過度の施肥をする必要が無く、雑草のないところに除草剤を散布する必要もない。作業サイクルの最後は農産物の収量と品質のばらつきの観測である。収量モニタ付きコンバインの開発や選果選別ロボットの開発により、作業しながら収量マップと品質マップが作成できるようになりつつある。

作業結果の評価指標には、当該年の収量や収益性のみならず長期的な地力維持や農作業の安全性あるいは環境保全効果なども重要になる。このようなほ場管理作業が一巡すると、ほ場状態と作業履歴の克明な記録を手にすることができ、生産現場の農産物トレーサビリティが実現できる。

以上の作業サイクルを実施するためには、ほ場マッピング技術と意志決定支援システムおよび可変作業技術が必要となるので、これらを精密農業の三要素技術と呼ぶ。

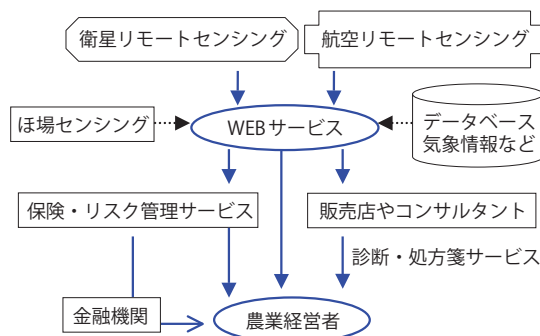


図4 WEBサービスを軸にした精密農業技術のパッケージ例  
リモートセンシングデータなど一括してほ場情報にまとめ、WEBを通じてワンストップのサービスを展開するビジネスモデル。顧客は農場主ばかりでなく、販売代理店や保険・融資の金融機関を想定したアグリビジネスをめざすもの。

## (2) 精密農業技術パッケージ

精密農業の開発普及における最終段階が、要素技術のパッケージ化と技術管理ビジネスモデルになることは、通常の生産技術の開発普及と同じである。これが過半の農場に普及してしまえば、精密農業が通常の農業になる。

まず、米国で注目されつつある精密農業技術パッケージの一例を紹介しよう（図4）。リモートセンシングや土壌・作物のデータを一括してほ場空間情報にまとめ、ウェブサイトを通じてワンストップのサービスを展開できるビジネスモデルである。現在、リモートセンシングの精密農業への利用は、インターネットによるWEBサービスを利用した画像データの利用が中心である。そこで、WEBサービスに着目し、顧客層を農場主ばかりでなく、農業コンサルタントや販売代理店、あるいはリスクビジネスの保険や金融機関に広げると、ひとつのビジネスユニットが構成できる。ユーザーニーズに対応したサービスを提供するためには、要素技術の接続による新たな機能の創造が課題となる。このような技術ステージの登場は、生産のあり方そのものが大きく変化する前触れでもある。

同様な技術パッケージ化を推進する国家事業が日本で開始された（澁澤 2007）。「IT活用型営農成果重視事業」（2006～2008）である。これは、IT技術等を活用して、ほ場等から得られる情報をもとに肥料成分流出量の5割低減、農薬散布量の5割低減に取り組むとともに、経営効率化への取組を通じて、事業実施主体に適した環境負荷の大幅低減と経営効率化を両立する仕組みの構築事

業であった。北見市のイソップアグリ株式会社や愛知の豊橋IT農業研究会あるいは愛媛の農業法人あぐりなどが、その取り組みに参加した。

著者らの構成した技術パッケージはリアルタイム土壌センサと収量メータ付きコンバインの組み合わせである(図5)。小麦栽培シーズンにおいて、リアルタイム土壌センサにより播種前土壌窒素と播種後土壌窒素を観測し、収量メータ付きコンバインによる収量マップから植物吸収窒素を換算することができた。施肥投入窒素は別途計量できたので、窒素バランスを評価すると、耕地からの窒素流出量を1メートルごとに推定することに成功した。窒素流出量は栽培による環境負荷の上限を与えるもので、環境保全型農業の新たな評価指標として期待される。

#### 4.「情報付きほ場」と「情報付き農産物」

精密農業の作業サイクルを実行すると、図6に示すように、ほ場管理の作業暦をふくむ「情報付きほ場」が誕生する。また収穫・選別・梱包作業の自動化・ロボット化を通じて、「情報付き農産物」が誕生する。「情報付きほ場」と「情報付き農産物」を集積することにより、地力維持を図りながら、コスト削減と良質農産物の生産、及び消費者ニーズに対応した市場戦略と収益性の向上が狙えるようになる。後述するように、二つの創造を能動的に活用する仕組みがコミュニティベース精密農業の主題である。

情報付きほ場の最も単純な活用例を紹介する。

まず、無視できない窒素成分のほ場ばらつきが発見さ

#### 土壌センサーと収量センサーの組合せ

精密農業技術パッケージ化の試み



リアルタイム土中光センサー 収量メーター付きコンバイン  
リアルタイム土中光センサーによる近赤外反射スペクトルの取得 自脱式収量コンバインによる小麦収量データの取得

土壌マップ

収量マップ

群馬農技ゼ 2005-2006

協力：中央農業総合研究センター、北陸水田利用部、作業技術研究室帖佐ら  
Shibu(070412)

#### 技術パッケージの構成

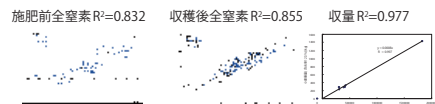


#### 作業サイクルモデルの提案



#### 検量線作成とドットマップ作成

圃場マップの計算例(ドットマップ)

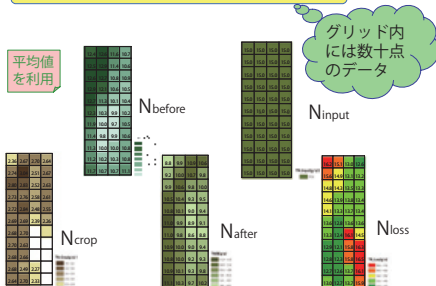


#### リスクとコストの戦略目標



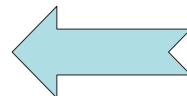
#### ほ場マッピングの仮想表示例

計算結果(10m×10mグリッドマップ)



Shibu(070412)

#### ほ場GISプラットフォームへ



#### 計算アルゴリズムの開発

窒素流出量推定方法：窒素フロー図

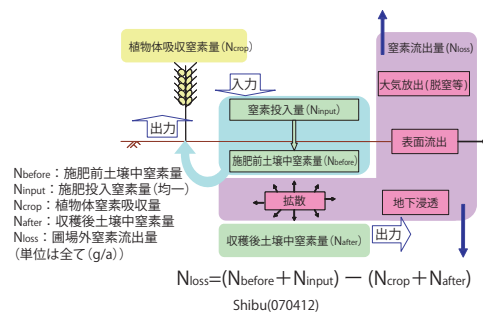


図5 土壌センサーと収量メーター付きコンバインの技術パッケージ例

土壌マップと収量マップおよび施肥マップを用いて、ほ場の外に放出した栄養分を推定できる。窒素バランスに着目すると散逸窒素量が求まり、環境負荷を見積もる際の基礎資料に利用できる。

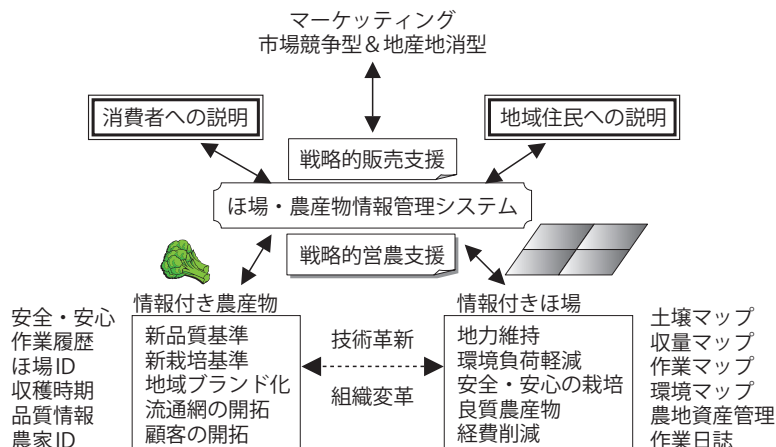


図6 情報付きほ場と情報付き農産物の戦略

精密農業の導入により、情報付きほ場と情報付き農産物が新たに誕生する。情報付きほ場は事実の記録にもとづく農場管理を可能にし、情報付き農産物は、流通における製造記録の発信を可能にする。

収量 450-500 kg/10a, 売上げ 120,000 – 140,000 円/10a

腐植の空間分布標準偏差(%)	0.33	0.51	0.78
〈施肥基準準拠戦略〉			
可変施肥による収量増(kg/10a)	7	17	23
販売額の増(円/10a)	1,920	4,560	6,240
〈収量維持戦略〉			
窒素肥料削減量(N-kg/10a)	0.6	0.9	1.2
コスト削減(円/10a)	720	1,200	1,560

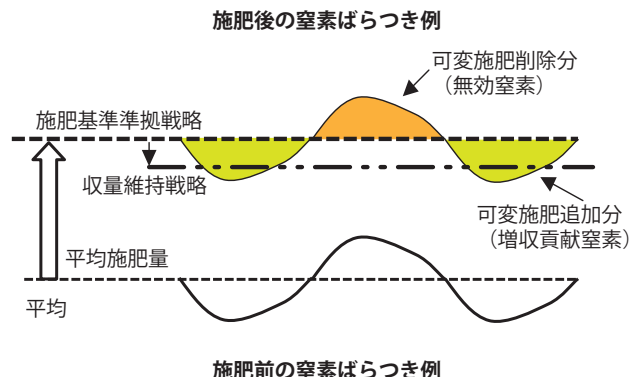


図7 窒素を例にした可変施肥の経済効果の分析例 (国立ほか 2004)

均一施肥をほどこしても、土壤栄養成分のばらつきはそのまま残る。施肥基準に準拠した戦略では、投入施肥量は同じだが、過剰部分を少なくし不足部分を増やして均等化を図る。この場合、不足部分の肥料充足で収量が増加するが、収量増加分を施肥量の削減に回すのが収量維持戦略。戦略選択は米代金と肥料価格のバランスに依存する。

れたと仮定する。ほ場は一枚の畑でも数千枚の畑でもよい。すると、少なくとも二つの施肥戦略が成り立つ(図7)。ひとつは、慣行の施肥量を維持する戦略である。ほ場への投入量は慣行通りであるが、ほ場平均より高い部分の施肥量を削除して低い部分に回し、全体から均等な施肥効果を得る戦略である。これで、増収効果と環境負荷軽減が期待される。もう一つは、慣行収量を維持する戦略である。均等施肥後の平均より高い部分の窒素は最大収量に貢献しないので削減する。さらに、ほ場内の施肥効果が均等になるように可変配分してもよいが、さらなる効果が見込めない場合は、必要のない作業である。

国立ほか(2004)は、水田における二つの窒素施肥戦

略を比較し、当時の米価と肥料価格においては、施肥量維持の収益効果が高いと判断した。ただし、玄米価格の2割低下と肥料価格の2倍化で、優劣は逆転する。

## 5. コミュニティベース精密農業

わが国の農業の特徴は、品質が価格に直結する食品需要が存在すること、大消費地に極めて近いところに生産の場が存在すること、生産の場は小規模で多様なほ場群を基礎に高品位で多彩な農産物を生産していること、大半の耕作者(所有者)はコストより売上を重視した経営志向であること、などである。このような、国際的にも

まれな特徴を有利に活用するモデルとして、コミュニティベース精密農業を提案した(図8)(澁澤 2006)。

まず、「ほ場内のばらつき」と「ほ場間の地域的ばらつき」および「農家の間のばらつき」という「階層的ばらつき」を管理する主体として、知的営農集団の組織化を求めている。知的営農集団は、情報技術を駆使する農業者からなる学習集団であり、農法の5大要素(作物、ほ場、技術、地域システム、動機)を再編構成し、農家の組織化やJAあるいは自治体との共同作業の中核を担う。知的営農集団は、精密農業の作業サイクルを実行することにより、「情報付きほ場」を創造することができる。

もう一つは、技術プラットフォームである。技術プラットフォームは、精密農業の3要素技術(マッピング技術、可変作業技術、意志決定支援システム)を地域のニーズにあわせて開発導入する企業および農産物のマーケティングを担う企業などから構成される。知的営農集団と協力することにより、「情報付きほ場」とリンクした「情報付き農産物」を供給する。

知的営農集団と技術プラットフォームにより形成される精密農業コミュニティが、現在進行している農業パラダイムシフトの担い手として注目されるのはそう遅くないであろう。

## 6. 農法と知財

「農業知財」とは、農産物の原料や材料およびその製法と販売にかかわるすべての知識、技法、技術、その仕組みの全体を対象にし、人間活動により新たに創造し付加された部分をいう。農業知財の中には、登録品種や系統及び商標・意匠や特許のほか、農場管理に関するノウハウも含まれる。農業知財の対象として農産物を理解するためには、農産物の製造プロセスを正確に記述することが基本になる。

農法とは、農産物を生産・出荷する仕組みであり、5大要素から構成される(図9)。それぞれの要素は、複数の異なる要素から構成され、重層的な階層構造を持っている。例えば、作物の選定については、品種の選択やその発現形の特性および栽培方法の特徴などがすべて記述されて、はじめて農法の要素になる。種子を購入しただけでは、農法の構成要素を管理したことにはならない。

ここで農業生産のプロトコル(農作業プロセスの規範)を正確に記録する強力な手法として、精密農業の作業サイクルを位置づけることができる。まず、播種から収穫までの作業手順に沿った時間軸を設け、ほ場あるいはほ場内の位置を空間座標として、観測した土壌・作物・気象情報や作業判断・作業内容など記録するところからはじまる。すると従来にない時間と空間の解像度をもった農業時空情報が蓄積される。これが「情報付きほ場」であった。

農法の5大要素が克明に記録されると、プロトコル(作業規範)が明瞭になり、同時に膨大な農業時空情報が生産される。その構造を整理することにより、農業知財の概念化が可能になる。私案として、農業AIネットワークサーバー構想を紹介する(図10)。AIは人工知能の略でもあり農業知能化や農業情報化の略でもある。本システムは三つのサブシステムをもつと想定される。一つは、4つの情報分類(土壌管理、栽培管理、病害虫管理、流通・販売)で蓄積されるデータベース、二つめは、作業決定支援装置、三つ目は、農業者や専門家の判断プロセスに介入する接続部分である。特に、作業決定支援装置では、農家の判断サイクルを模写した形で、情報・知の4つの位相をデータ、情報、知識、知恵と分類し、事実を収集するステージと、判断の文脈論理を構築するステージからなる。思考は、二つのステージを行き来しながら、不完全な部分を補完し、条件付きの意志決定に至る、というものである。

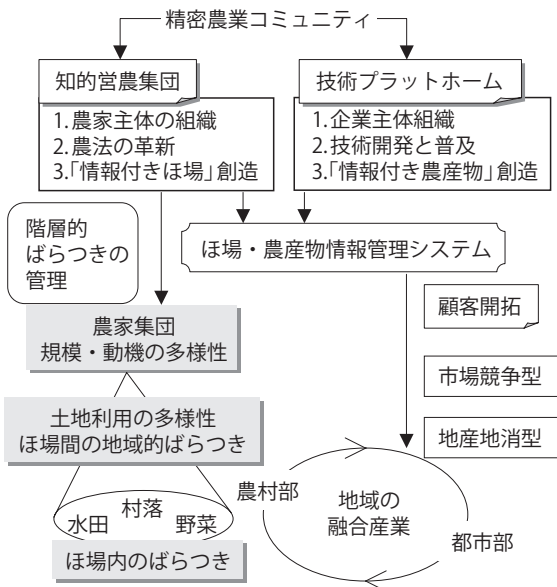


図8 コミュニティベース精密農業のモデルの構図

知的営農集団による農場のばらつき管理と情報付きほ場の創造、技術プラットフォームによる技術パッケージの提供とフードチェーン管理により、競争力ある食農システム事業体の創造をめざす。

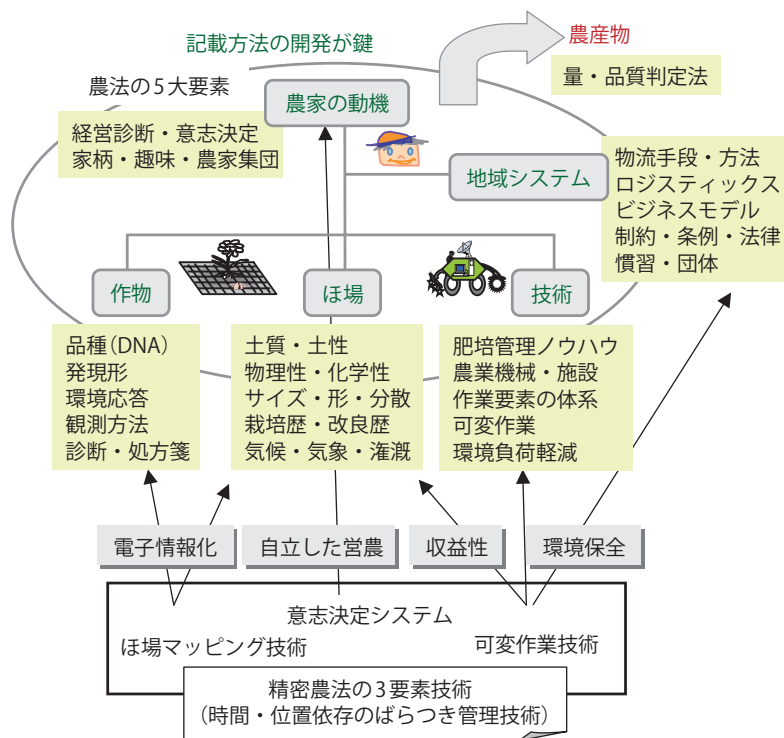


図9 精密農業技術による農法5大要素の記録と情報化

精密農業技術の導入により、農作業をはじめとした農場管理のノウハウが充実に記録され、知的財産が蓄積される。

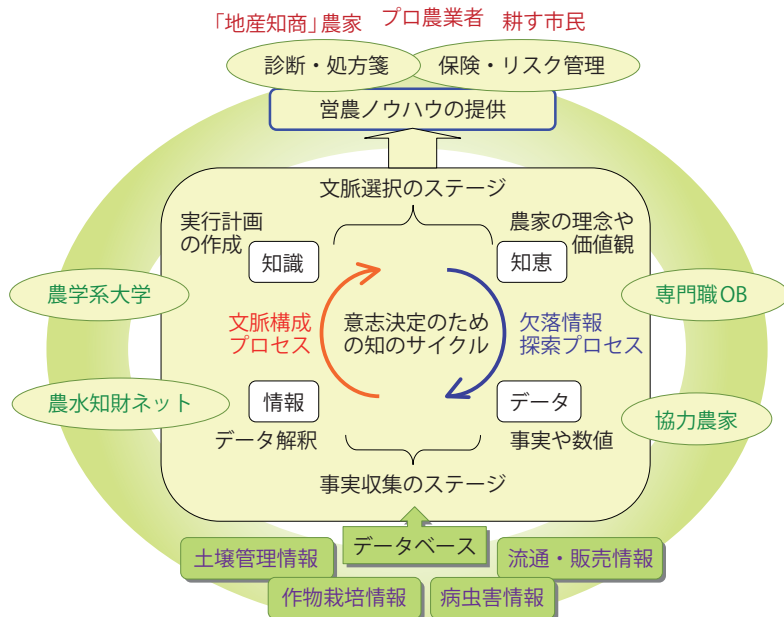


図10 意志決定のプロセスを支援するAIネットワークサーバー構想

## 6. おわりに

精密農業の導入過程は、農業を鉱工業化し、また鉱工業を農業化する様々な取り組みが包摂されていく過程でもある。そこでは、「時間+位置+事実」の記録に基づく判断文脈の構成が共通した基礎にあり、その出口はユーザーイノベーション型の産業を作り出すところにある。農林業の対象が国土の大半であることを考えると、精密農業の普及は我が国のランドデザインに大きなインパクトを与えることにもなるだろう。

### 参考文献

- Berry, J.K, Delgado, J. A., Pierce, F. J., Khosla, R. 2005. Applying spatial analysis for precision conservation across the landscape. *J. Soil and Water Conservation*, 60 (6) : 363-370.
- 国立卓生、工藤卓雄、桶 敏、澁澤 栄(2004)、高品質米の省力安定生産のための局所施肥管理システム、*農業機械学会誌*、66 (5) : 154-163
- 農林水産術会議 (2008)、農林水産研究開発レポートNo.24「日本型精密農業を目指した技術開発」: p18
- 澁澤 栄(2006)、「精密農業」、朝倉書店:p199
- 澁澤 栄 (2007)、我が国における精密農業の動向と展望、*農林水産技術研究ジャーナル*、30 (5) : 5-9
- 澁澤 栄 (2009) 精密農業におけるイノベーション、計測と制御、48 (2) : 151-156
- 建山和由 (2002)、ITと建設施工ーPrecision Constructionの試みー、*建設の機械化*、625: 3-7

## profile

澁澤 栄 (しぶさわ さかえ)

1953年生。群馬県。1979年京都大学大学院農学研究科修士課程修了、農学博士。1981年石川県農業短期大学助手、1987年北海道大学農学部助手、1990年島根大学農学部助教授、1993年東京農工大学農学部助教授、2001年同大学教授、現在に至る。農業機械学会会長、農業情報学会正会員。土壌センサ開発、農産物品質評価、精密農業の研究に従事。