

学生や大学院生および実務者のための特別講義
 (東京農工大学大学院農学府修士課程の講義を元に編集)

TAT 東京農工大学

コミュニティベース精密農業 の理解のために (3) 2019.6.15

澁澤 栄
 東京農工大学大学院 農学研究院
 農業環境工学部門

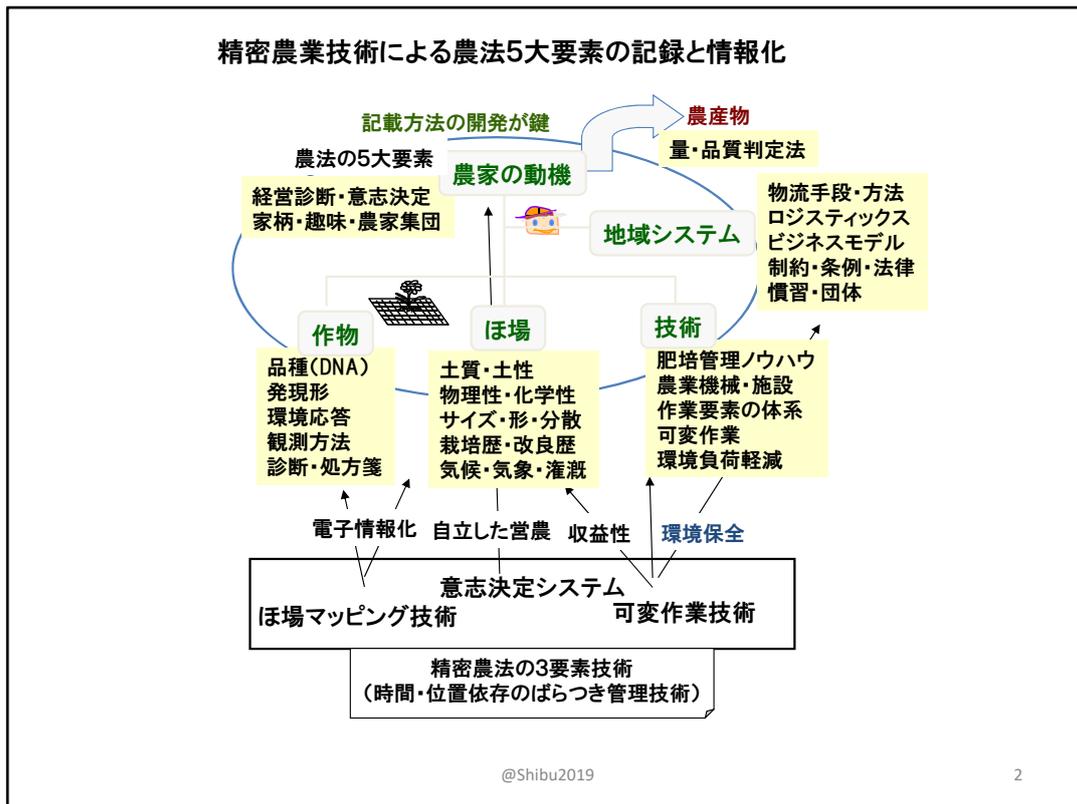
1. 考え方と担い手	5. 農業知財と地域ブランド
2. 精密農業の経済性	6. 農業情報の創成と標準化
3. 精密農業技術	7. GLOBAL G.A.P.と安全保障
4. 意思決定支援システム	8. アグロメディカルフーズ

2007.12.18

(中国農業大学のWang Maohua教授と中国農業の機械化5カ年計画を相談しているところ)

今回は精密農業を実行ないし支援するための技術について紹介する。第1回でも紹介したように、環境保全と収益向上のトレードオフ問題を同時に実現する営農マネジメント戦略が精密農業である。それを現実の課題にしたのが、1990年代初期に、軍事技術であるGPS(汎地球測位システム、人工衛星による高精度な地上測位技術)の民間解放であった。

その後、マネジメント戦略Precision Management Strategyの発達とともに、それを実現する技術群が世界中で開発され、また技術の多様な運用方法が試みられている。現在では、技術シーズ先行型(先に技術開発に投資し、あとで利用方法を考える)からニーズ駆動型(先に市場ニーズを調べ、あとで技術開発を行う)へと技術開発の様子が変わり、技術の成熟化が進んでいる。



まず農法の5大要素と精密農業技術との関係を紹介する。

農法とは、地力維持(土地の生産性)を基調とした良質農産物の安定生産をめざす技術体系であり、五つの技術要素から構成される。作物品種、ほ場条件、利用技術、地域システム、そして農家の動機である。例えば、ほ場条件は、ほ場サイズや道路のアクセス、灌漑施設の有無、土性、気象や気候などのサブ要素からなり、それぞれが人工的に制御可能なものから環境制約になるものまで、さまざまであり重層構造をもつ。これらの中心に位置するのが農家の動機であり、蓄積した技能や家柄、あるいは学歴や所属する団体などが関係し、農家の価値観に依存する。

精密農業技術は、ばらつきを記録するほ場マッピング技術、意思決定支援システム、ばらつき対応の可変作業技術から構成される。ほ場マッピング技術は、作物やほ場のとらえ方に変更を迫り、意思決定支援システムは農家の動機に変更を迫り、可変作業技術は利用技術と地域システムに変更を迫る。三つの技術は農法の五大要素に同時に変更を迫る農業の大変革なのである。



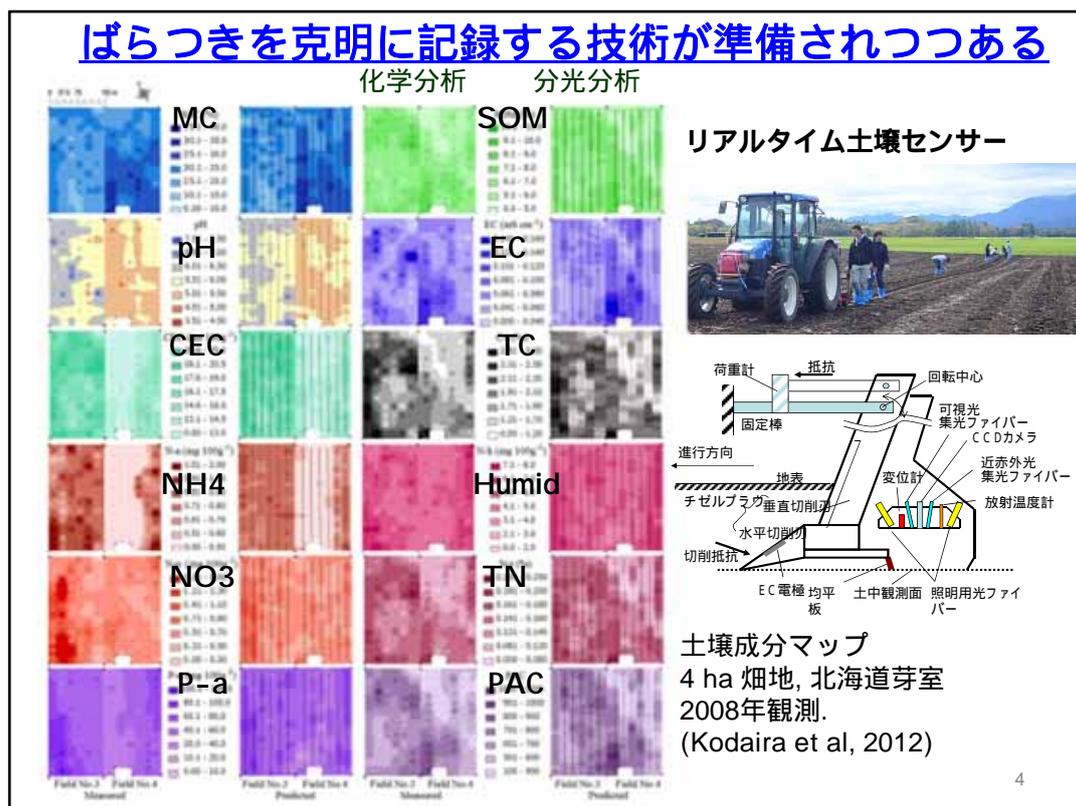
ほ場マッピング技術で最も注目されるのは、収益に直結する収量マップ技術である。

穀物収穫は機械化が進んでおり、収穫した穀流量やグレタンクの重さを刻々と測定するセンサーを設置して、GPSの位置情報とあわせて収量マップを描くことができる。上図では、精密農業の導入4年目のコロンビアで、稲作組合が収量センサーを購入して収量マップを作成した例である。衛星サービスの生育マップ（NVDI）と土壌マップをつきあわせ、なぜこのようなばらつきが現れたのか相談している。

日本では、精密農業導入から20年経過し、ようやく農家がほ場マップを手にして相談する場面がれた。

欧米では、収穫の機械化が実現されている加工用トマトや芋類、果樹などは、収量センサーを工夫して設置し収量マップを作成している。だが機械化されていなければ収量マップ作成は困難である。

新たな挑戦は、手収穫作業の情報化である。収量マップのための野心的課題であるが、まだ手がつけられてない。

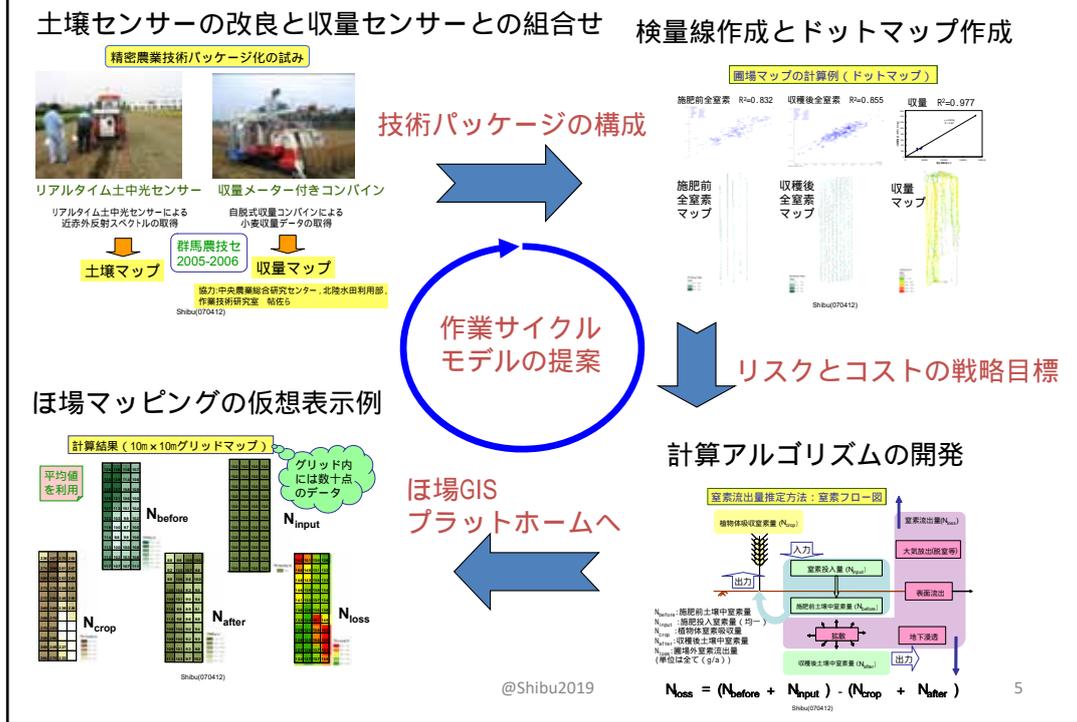


続いて土壌マッピング技術を紹介する。

時間と位置のデータに土壌分析値を加え、描画ソフトを利用すると土壌成分マップが得られる。時間と位置の測定が機械化され、土壌サンプルをマニュアルで収集し、ラボで分析後に土壌マップを提供する方法が一般的である。土壌分析費用は、一つのサンプルあたり、10~15成分で10ドル、すなわち千円程度が国際相場である。しかし1枚のほ場から数十点の土壌サンプルを収集分析する時間とコストが普及の障害になっている。日本では過去20年間、土壌分析価格が1サンプルあたり五千円~二万円など、国際相場からみて異常に高すぎる。是正が必要である。

土壌マッピングの機械化には様々な試みがなされている。上図は、トラクタ搭載のサブソイラに付加した土壌センサで、土中に横トンネルの観測空間をつくり、光センサーや画像カメラなどで同時に複数の情報を収集する装置である。複数の土壌成分マップが同時に得られる。ほかに電気抵抗や電磁誘導を利用した土壌ECの測定技術も開発されている。空撮の試みもあるが、土壌表面の情報しか得られないので、利用方法には制限がある。

生産地における新技術パッケージの例



土壌マップと収量マップを用いると、仮想の環境負荷マップという新しい土壌情報を創造することが出来る。

上図は、2005年から2006年にかけての群馬県農業研究センター小麦ほ場の試験結果である。播種前と収穫後に土壌センサーSAS1000を走らせ、複数の土壌成分マップを得た。また収量メーター付きコンバインにより、籾質量、水分、タンパク含量などの詳細マップを得た。全窒素に着目し、入力量として施肥と播種前土壌窒素、出力として作物吸収窒素と収穫後の土壌残留窒素を計算した。作物吸収窒素は、麦株サンプルの分解調査により、籾質量と作物体窒素の関係を推定した。10mグリッド内の数十点の平均値と分散を求め、図のようにグリッドマップで表現した。

入力と出力の差が環境中に流亡した窒素になる。施肥量より多くの流亡窒素が得られたグリッドは、環境負荷の危険性が高くなる。実際には作物が枯死するなど収量が極端に低い場所であった。

この試験では、収量マップ、タンパクマップ、環境負荷マップを用いて、適正な全窒素量の範囲を相談した。

可変作業機械の例



<https://search.yahoo.co.jp/image/search?rkf=2&ei=UTF-8&gdr=1&p=N-sensor#mode%3Ddetail%26index%3D6%26st%3D141>



<https://search.yahoo.co.jp/image/search?rkf=2&ei=UTF-8&gdr=1&p=N-sensor#mode%3Ddetail%26index%3D8%26st%3D141>

Yara N-センサ
作物葉の緑色程度を
分光反射光で計測し
てNVDIを推定値し、
追肥の量を制御する
可変施肥機械。

参考: NVDI(正規化
植生指数)は葉緑素
量と光合成活性の指
標として用いられる

ロボット農機の登場

<https://agrijournal.jp/material/42415/>



@Shibu2019

6

ほ場のばらつきに対応する技術として可変作業技術がある。農家が作物の様子を見ながら追肥量を調整する作業は、かねから「追肥」という可変作業であった。しかし機械化による均一作業になると、作物の様子に合わせて追肥量を調節する作業がなかなか難しくなった。そこで登場しにたのが、N-センサを利用したブロードキャストによる可変施肥機である。近赤外分光センサにより葉色の測定を行い、追肥量を調整することができる。

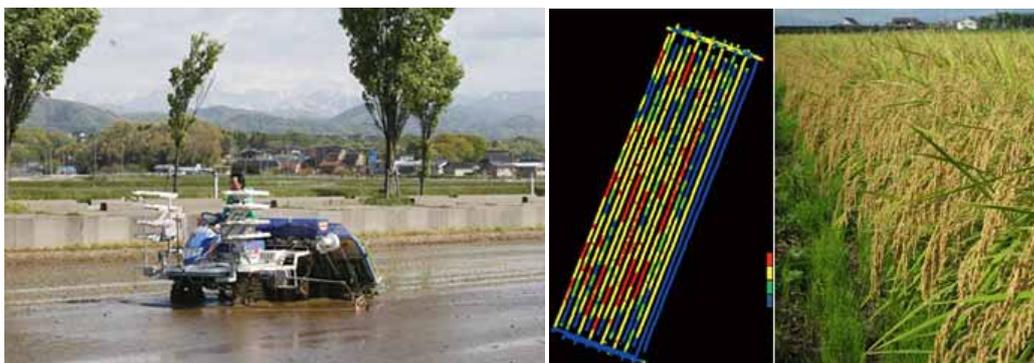
農薬散布の可変作業は期待されている。排除すべき雑草のみを検出して薬液散布をする自走式のスプレーヤーや散粒機あるいは空中散布機であり、2割～5割の薬液削減が期待できる。ただし、日本の農薬取締法では、面積あたりの薬液を溶いて所定面積に使用することが義務づけられており、残量薬液の処理方法が煩雑のため、薬液削減の可変作業は課題を抱えている。

ロボット農機と呼ばれる自律型機械が登場し、可変作業の高度化が急速に進んでいる。小型の除草ロボットは、比較的平坦な畑地での除草作業で効果を挙げている。グリーンハウスや植物工場内の自動作物ハンドリングも可変作業の一種である。

可変施肥田植機(研究開発中)

前輪付近で作土の深さとSFV(土壤肥沃度)を調べて、その情報に応じて田植作業と同時に施肥量を制御。

1枚の田んぼの中で、作土の深い所、肥沃度の高い所で、肥料の量を自動的にひかえます。



<https://www.iseki.co.jp/cheer/ict/>

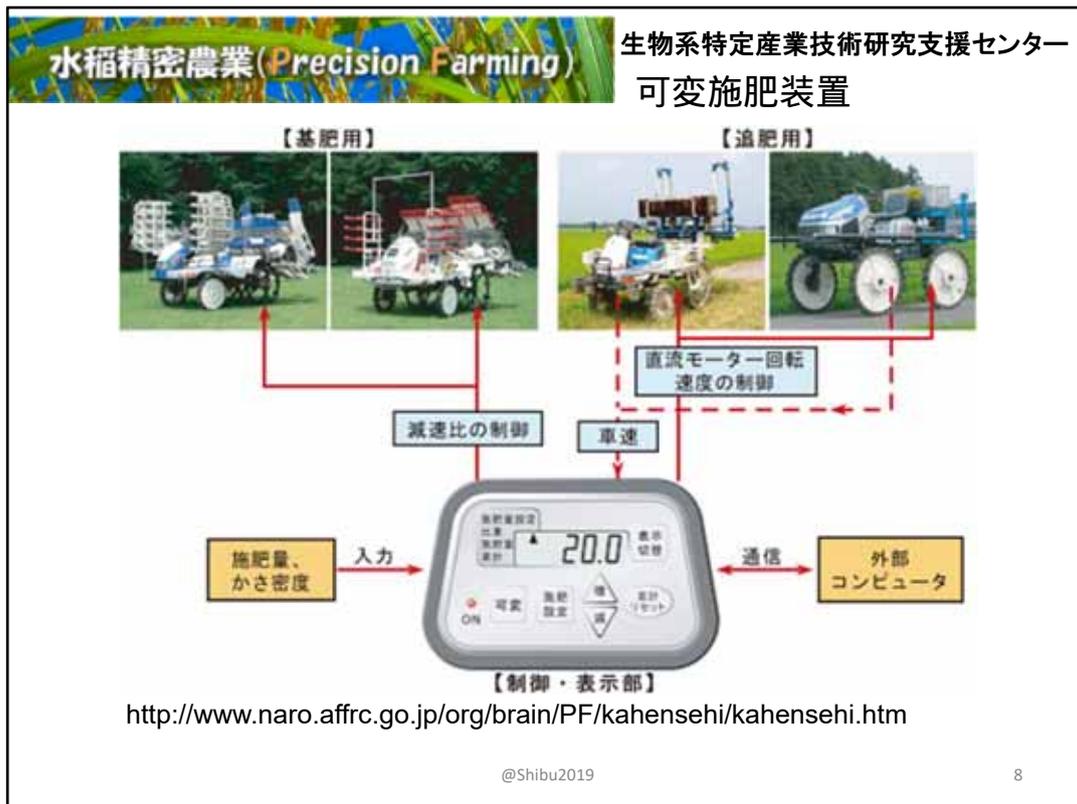
@Shibu2019

7

田植作業と土壤肥沃度検出と可変施肥を一つの作業で同時に実現する田植機が井関農機(株)から市販され、国内外で急速に普及しつつある。上図は研究開発中のほ場試験の様子である。

田植機の車輪沈下で耕盤までの作土層を推定し、電気抵抗による土壤電気伝導度ECを測定する、水田ならではの計測システムを搭載している。ECの値に対応して、側条施肥量を加減し、基本的には、事実に基づく施肥削減を実行する。通常の田植え作業をしながらの施肥作業なので、コスト低減のみならず軽労化と環境負荷軽減が同時に実現される。

日本の稲作では、多肥多収の技術体系が定着しており、減肥は収量低下に繋がるとの先入観が根強く、環境負荷軽減をめざす施肥削減は至難の業であった。しかし、土壤肥沃度を測定し、根拠データに基づいて収量低下の心配なく減肥作業が実行出来ることは、日本稲作の革命的な転換を引き起こすことになるだろう。化学肥料の投入量を欧州並みに半減することは国際的責務であり、このような収量安定・施肥削減の技術は世界からも期待される時代である。

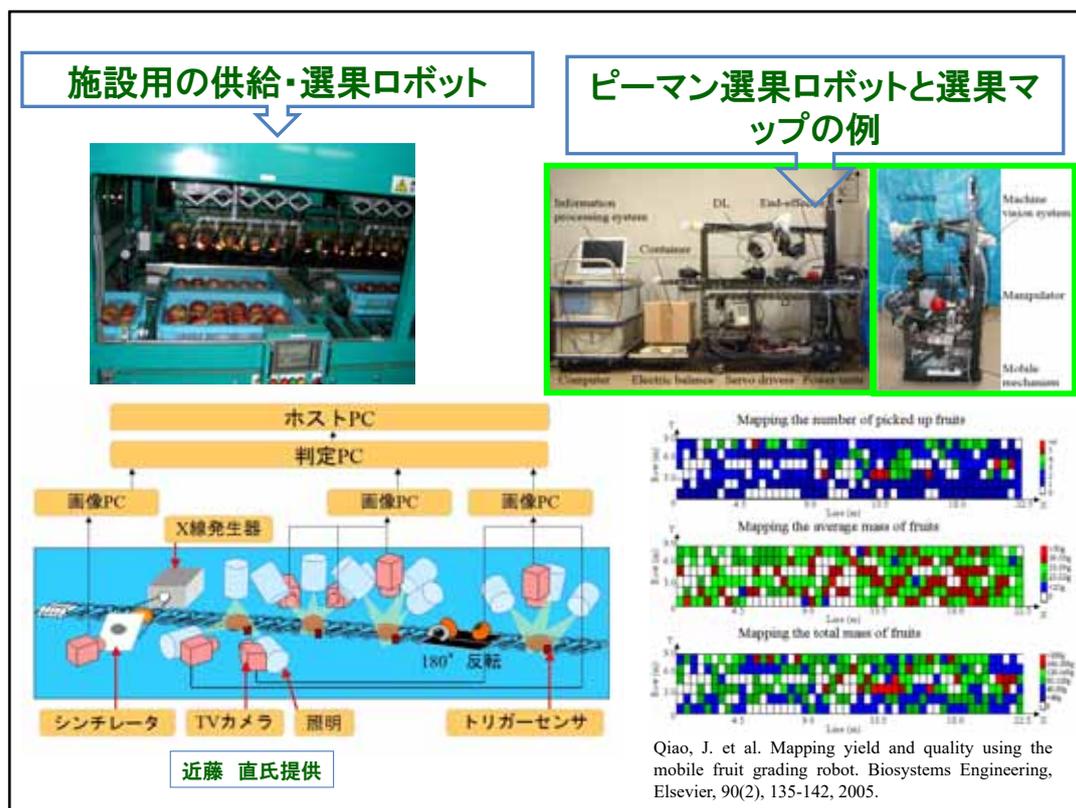


農林水産省では、精密農業を導入するための施策を継続して取り組んできた。

土壌や作物のセンシング技術や可変作業機械の自動化、自律走行・農業ロボットの開発を主なターゲットにして、私が協力したものでも、略称で申し訳ないが、21世紀緊プロ(1998-2003)、精密畑作(2003-2007)、精密水田(2003-2007)、担い手育成ITプロ(2007-2011)など、農研機構を中心に推進された。それらの一例として、水田管理車両に可変施肥装置を搭載したものが上図である。

また東日本大震災に対する震災復興プロ(2012-2018)では、開発した精密農業技術の多くが農業復興事業に貢献している。

施策展開に関する取り組みでは、農林水産研究開発レポートNo.24「日本型精密農業」(2008)、AI農業研究会(2012-2014)、スマート農業研究会(2016-2018)などが進められ、農業リスク管理の面ではグローバルGAPに対する国内法を整理したGAP共通ガイドライン(2010-2012)が整備された。



選果ロボットの開発普及は、農業生産の出口を情報化する日本の誇るべき技術である。

2002年、個々の果実を識別し、外部品質と内部品質の検査結果を加えた情報付き農産物を大量に出荷できる選果ロボットが石井工業(株)(現在のシブヤ精機(株))により開発された。さらに移動型選果ロボットが提案された。

通常、室内に設置された選果装置は、農家から出荷された果実を1個ずつコンベアに乗せ、果実の全面を可視画像により外觀品質を検査し、形と重さで等級階級を選別する自動機械である。選別された果実は、機械的に選別されて梱包されるが、微少な傷害などは人間が選別するものが従来であった。近赤外分光反射特性などを利用して糖度判別ができるようになると、糖度基準の選別が可能になった。また近赤外画像や近紫外画像より表面のわずかな痛みが検出でき、軟X線画像より内部の腐りなども検出できるようになった。

現在では、コストと生産性を考えてさまざまな機能を選べる段階になっている。

 古くから利用されている農作業意思決定支援システム DSSAT
Decision Support System for Agricultural Systems

作業計画管理支援システム

各種農作業に対して多くの意思決定支援システムが市販されている。

<http://www.aginfo.jp/PMS/>

@Shibu2019 10



意思決定支援システム，あるいは判断支援システムは情報処理システムである。どんな判断をするのか，そのために必要な情報はなにか，情報の欠落がある場合の対処法はいかにしたらいいのか，そして投資(コスト)と期待(リスク削減や収益増)のバランスはどうなっているのか，などがわかりやすく提示される必要がある。

上図は意思決定支援システムの一例である。農作業決定支援システムDSSATは施肥設計などの処方箋を提示するソフトで，米国の研究機関で20年以上前に開発され，現在も利用されている。欧米の畑作に適したソフトといえる。

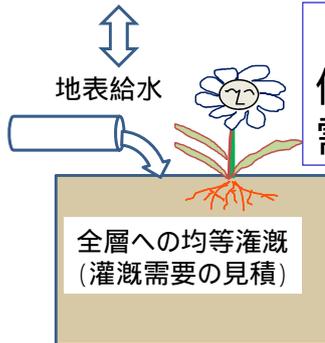
日本の水田では，大規模なモノカルチャのようなものなので，営農組合などは，田植えや収穫などの作業集中を緻密に管理する必要がある。一枚ごとの水田情報を地域全体で一目瞭然に表示し，灌水順序や田植え作業，防除作業や収穫・乾燥・調整作業に対して，限られた資源や機械を有効利用するための作業計画が必要になる。管理区域が大規模によるほど作業判断ソフトの活用が期待される。

極限状態を想定した超節水精密農業技術の開発

精密農業:ばらつきの克明な記録に基づく,きめ細やかな農場マネジメント。
通常はITを駆使した農業情報化を伴う。

従来の考え方

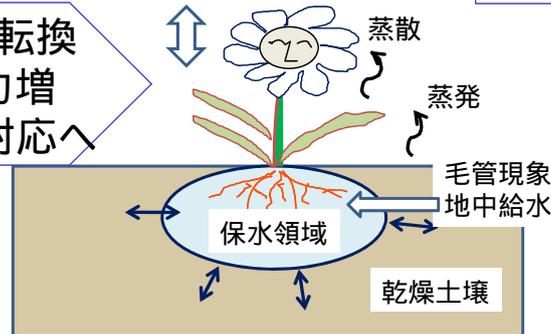
ダムや大規模な灌漑施設
による供給能力の増大



戦略転換
供給力増
需要対応へ

本研究

需要のばらつきに対応した
きめ細やかな給水システム



@Shibu2019

11

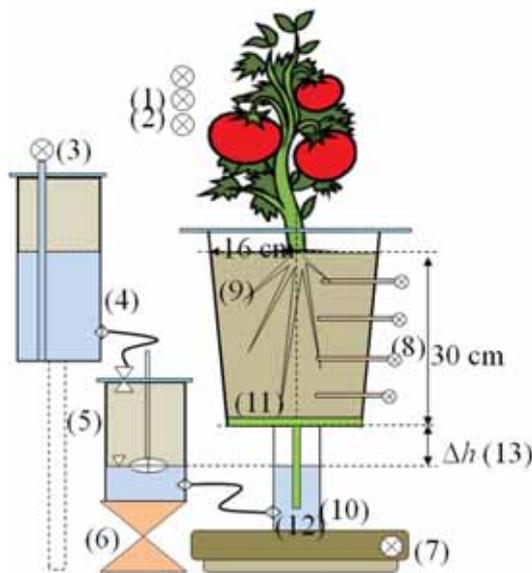
可変灌水技術の開発研究の紹介である。

精密農業はほ場ばらつきの管理が主題だが、そのばらつきの主な原因である作物の生理特性を対象にした可変灌水技術を検討した。原理は簡単である。右図のように作物が吸水すると根の近傍の土壌水圧が減少するので、周囲から毛細管現象により水が移動する。これにサイホンパイプを接続すると、減圧に対応した水供給ができる。すなわち、作物ニーズに対応した灌水が可能になる。根の近傍のみ湿潤にし、周囲は乾燥状態で作物管理ができれば、灌水需要を大幅に削減することが可能である。

従来の灌漑計画では、対象とする農地の全面に亘って全層を潤す水量を水需要の基準にしていた。用水路の輸送効率や流亡損失などを加味し、莫大な水需要が見積られる。それに対応するための貯水施設や輸送・配水施設が構築され、大型化が試みられたが、結局、偏在する水需要に対応することが困難であった。考え方を転換し、水需要の見積もりを半減できれば、既存の灌漑計画に十分な余裕が出てくるのではないかと考えた。

作物吸水量の計測システム

Shukri et al. Capillary Flow Response in a Soil-Plant System for Modified Subsurface Precision Irrigation. Precision Agriculture, Open Access, April 2013, DOI 10.1007/s11119-013-9309-6



土壌	砂：18.8%
	シルト：12.5%
	粘土：12.5%
	有機培養土：56.2%
	体積含水率：0.42m ³ /m ³
品種	トマト・桃太郎（大玉）
施設	ファイトロン

- (3) 水位センサ (Watty, HLG1)
- (5) 水位制御タンク
- (7) 電子天秤 (A&D, GP32KS)
- (8) 土壌水分計 (Decagon, EC-5)
- (11) 給水布 (東洋紡)
- (12) 導水布 (東洋紡)

@Shibu2019

12

作業仮説を実証する実験を行った。

栽培ポットの中に土をいれてトマト(桃太郎)を1本栽培した。ポットの上面を密閉し、水が蒸発しないようにした。作物からの蒸散のみが水消費と見なせるようにした。厳密には、作物成長に従って作物の保水量も増えるが、蒸散に比べればわずかである。

ポットの底には導水用の不織布ひもを垂らし、給水カップに接続した。もう一つの給水カップを用意してパイプで接続し、水面が同期するようにした。給水カップの水位を自動計測し、水面を維持するように自動給水した。不織布ひもは毛管現象により水を供給し、水位が一定に保たれるように給水されるので、作物吸水に応じた微量灌水が可能になる。

このポット栽培システムは一坪のガラス温室(ファイトロンという)のなかで管理された。自然日照のもとで、昼間25度、夜間15度の温度管理を行った。

(参考) トマトの生育と収量調査 (各1株)

	水位差制御 (-4 ~ -7cm)	水位差一定 (-5cm)
果実数量	36	30
合計質量 (g)	4795	3217
平均質量 (g)	133.2	107.2
Brix (%)	6.52	7.33
未果実落花	5	13
水生産効率 (g/kg)	43.59	20.11

果実あたり水使用量	(L/kg)
イスラエル, アルメニア: 露地	60
アルメニア: ビニルハウス (1990)	40
TUAT: 地中灌漑・水位差一定	49
イスラエル: 無加温温室	30
アルメニア: ビニルハウス (2000)	27
オランダ: グリーンハウス, CO ₂ 制御	22
TUAT: 地中灌漑, 水位差制御	23
オランダ: 排水再利用グリーン ハウス	15

Stanghellini et al.,
(2003)

@Shibu2019

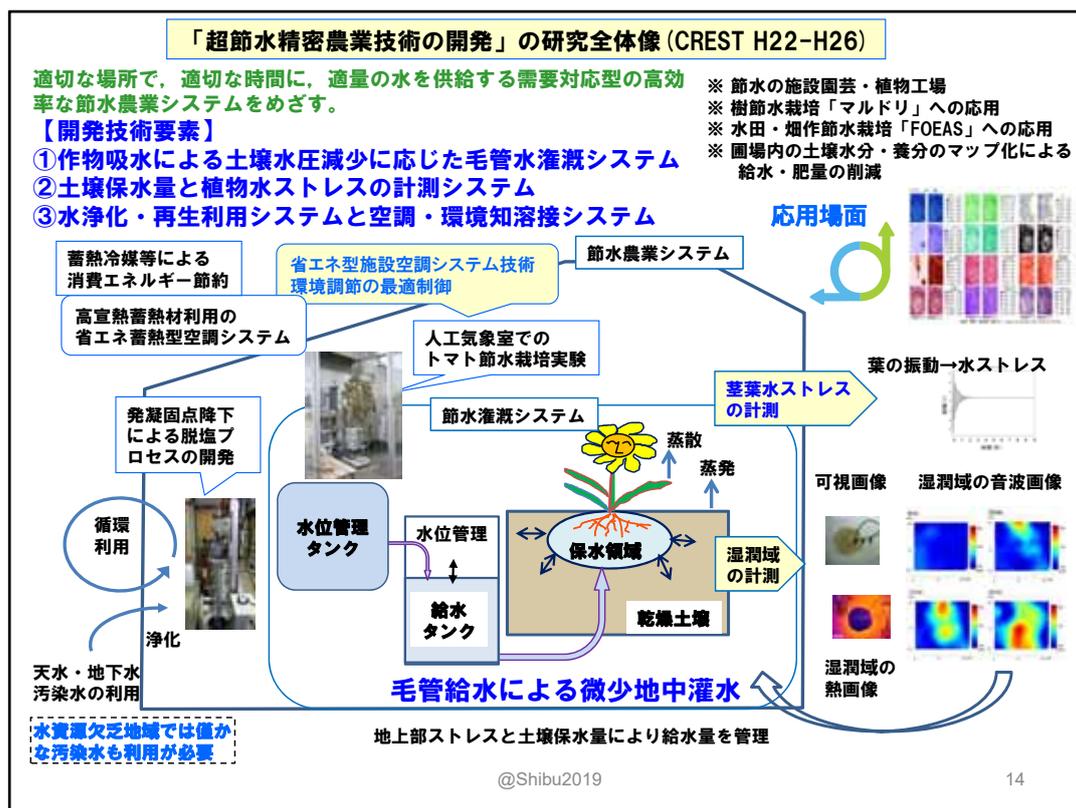
13

実験結果を紹介する。実験数が少ないので、一つの事例と考えてください。

左の表は、栽培期間中、1本のトマトの木より得られた果実を示しており、5段栽培で36個と30個、1個あたりの重さが平均110g程度、糖度が6.5度ないし7.3度であった。1リットルの水で何グラムの果実を生産したかは、水位一定で20グラム、水位可変で43グラムになった。

右の表は、論文で公表されているトマトの温室栽培の試験成績である。1kgの果実を生産するのに消費した水の量を比較したものである。世界先端の節水栽培ではイスラエル、アルメニア、オランダが進んでおり、20リットルから40リットルのデータがでていいる。農工大の実験結果は水位可変で23リットルとなった。

このデータをもって節水農業が実現できると考えるのは早計である。水源の確保や水管理, エネルギー(電力)管理, 実用スケールの栽培ノウハウ, 出荷販売, リスク管理などの仕組み, すなわち農法を支える仕組みを整備する必要がある。



超節水精密農業のひとつのかたちを示す。

毛管現象を利用した微量給水システムの栽培セットをガラスハウスで囲んでしまうという単純なアイデアである。土壌水分と作物のしおれ具合を鋭敏に観測し、品質と収量を害さない最小限の灌水システムが基本となる技術要素である。ガラスハウスの中を空調すると、空中の水蒸気を結露させて水に戻すことができる。作物吸水の90%以上は蒸散により放出されるので、その還元水を利用すれば、しばらくは外からの水供給無しで栽培が可能である。これが第2の技術要素である。例えば砂漠地帯などに設置すると、地下水が重金属などで汚染されている地域が多い。簡便な水浄化システムを併設すると、比較的どんな場所でもこの栽培システムを設置できる。第3の技術要素である。ガス発電や太陽光パネルなどの複数電源装置を併設し、自立運転を可能にすることも重要である。第4の技術要素である。そして、この培地や作物のばらつきに対応した肥培管理が第5の技術要素である。実用的には費用対効果の見積もりが求められる。

今回の講義はこれで終わり。以上。