

21世紀に進展する農業技術

—精密農法とロボット農業—

北海道大学大学院農学研究科 助教授 野口 伸



図1 工業分野と農業分野における生産システムの過去・現在・未来

一 はじめに

農耕文明の長い歴史における第一次農業革命は農機具への鉄利用、第二次が蒸気機関の発明に始まったトラクタリゼーション、第三次は今進行している農業の情報化といわれる。農業の情報化とはいま具現化しつつある精密農業のことである。現在の精密農業を長い農業技術史の中で一大革命と位置づける学者・ジャーナリストもいる。農業はその時間的・空間的な情報量の膨大さ、情報媒体の整備遅れ、個々の農家の経営規模・資本力などの点で、その情報化は工業分野に比べ後れをとってきたが、近年欧米を中心に営々と進められている。工業分野と農業分野の生産技術の推移を振り返って見たものが図1である。



野口 伸 (のぐち のぼる) さん

- 1985年 北海道大学農学部農業工学科卒業
1990年 北海道大学大学院農学研究科農業工学専攻博士課程修了
1990年 北海道大学農学部助手
1997年 北海道大学大学院農学研究科助教授
1997年 文部省在外研究員（イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校）

<主な研究分野>

- 農用移動ロボット群の知能化
- センサフュージョンによる農用車両の自動化（イリノイ大学との共同研究）
- 精密ほ場管理のためのマルチスペクトルイメージセンサ（イリノイ大学との共同研究）

工業分野の生産技術も第二次世界大戦前まで、熟練工による一般工作機械を用いて生産が行われてきた。戦後の高度成長期にCAD (Computer Aided Design)、CAM (Computer Aided Manufacturing)、さらにはロボットなどが実用化して、現在では無人作業ができる技術レベルに達した生産工場もある。一方、農業分野はいまだトラクタなどの農業機械を農家が使用して生産する形態を維持しており、トラクタなど生産資材の大型化は時代とともに進んでいるが農法の本質は変わらない。すなわち、篤農家の経験と勘に極めて依存した生産技術である。これは屋外環境下の食料生産技術の高度化が生物を含む複雑要素扱うことを意味するために、工場内の生産プロセス自動化の技術レベルでは不十分であることに他ならない。

我が国の食料自給率が四〇%（カロリーベース）を切ったことは、最近新聞・テレビなどに取り上げられたところであるが、先進諸国で最低の水準である。新農業基本法は国内自給率の向上を目指しているにもかかわらず、農家戸数は一貫して減少し平成十一年には三二四万戸となった。このうち、専業農家の割合は二割以下であり、他方農業以外からの所得の多い第二種兼業農家が約七割を占めている。加えて、農村地域においては、若年層の流出等により、過疎化が進むとともに、六五歳以上は二八%と我が国社会全体に先行して高齢化が進行している。一方、一戸あたりの耕地面積は増加傾向にあり、特に五畝以上の農家

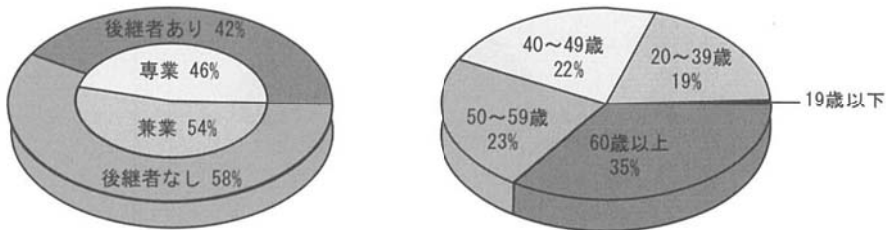


図2 北海道農業の現状

戸数の増加が際立っている。つまり、農業地帯では過疎化が進み、今後さらに高齢化が進むと予測され、労働力不足は深刻な状況にある。

北海道の基幹産業が農業であることはいうまでもなく、小麦、大豆、馬鈴薯、生乳などの多くの生産量が都道府県別で全国第一位を占め、農業粗生産額は一九八四年から一兆円を越えている。実際の経営規模も平成十年の本道一戸当たりの経営耕地面積が一五・六haに達し、都府県の一・一haの一四・二倍の規模である。この原因は農家戸数の減少にあり、一九八五年に一万户あった農家戸数が一九九八年には七万户まで減少した。つまるところ、図2に示したように農業地帯では過疎化が進み、労働力も高齢化の一途をたどっている。

一九九八年現在で六〇才以上の農家が全体の三五%に達し、今後さらに高齢化が進むと予測されている。たとえば、十勝の幕別町では一九八一年から一九九八年の一七年間で、農家一戸あたりの経営面積が平均一〇ha増加している。しかし、労働力は家族経営を基盤とした従来農法と変わりなく、規模拡大にも限界がある。また、最近では一〇〇haを越す大規模農業を実践している農家も増えつつあり、労働力不足は深刻な状況にある。このような背景から自動化を含めた農業機械の革新的高性能化は、農業を持続的発展させる上で必須である。

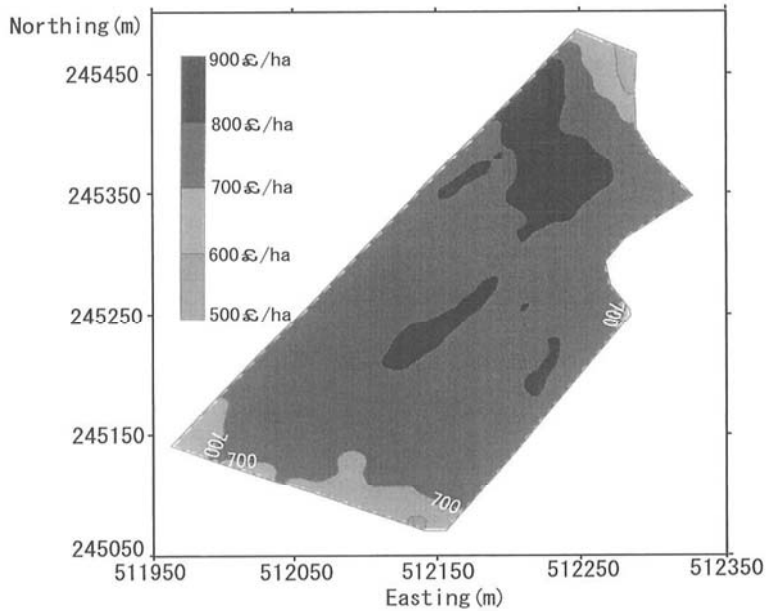


図3 収量マップを加工して作成した粗収益マップ
(S.Blackmore, 英国)

二. 精密農法の現状と展望

精密農法 (Precision Farming; PF) は一筆ほ場やほ場間の作物生育のばらつきを把握し、ほ場を小空間に分割することによって、ミクロな視点で最適な管理作業を目指した技術である。必要なところだけに必要量の化学肥料、農薬を散布しようという従来の均一施用とはコンセプトが異なり、地域環境の保全、農産物の安全性、低コスト農業に寄与することが期待される。

基盤技術はGPSとGIS (地理情報システム) である。この技術の革新的な点は農家が今まで決して把握できなかった圃場の詳細 (収量や土壌成分) が地図情報としてコンピュータのスクリーンに描画されたことにある。これは、篤農家といえども大規模ほ場の詳細を観察・記憶することができなかった現在の農法とは、飛躍的な技術変革である。また、このようなほ場の詳細情報は当然施肥計画などの作業計画の適正化にも有効である。

欧米のPF技術は収量マップと土壌マップが象徴的な商品である。収量モニター付コンバイン (PFコンバイン) の販売台数は新車販売台数の約二〇%に達する。このPFコンバインは、GPS受信機、レーダ速度計、穀流センサ、含水比センサ、収



図4 土壌サンプリング用車両
(Ag-chem社, 米国)

量モニタが基本要素となる。さらに、収量測定精度を向上させるために、刈取ヘッタ部両端に超音波距離計を装着して、実刈幅をリアルタイムで測定して収量データを補正するシステムも実用化している。この収量モニタリングシステムは、小麦、コーン、大豆はもちろんのこと、オート、大麦などにも対応している。また、米国では綿、野菜、牧草など穀類以外の収量マップを作成するためのセンサ開発も鋭意進めている。

一口に収量マップといっても収量情報を加工することで様々

な興味深い空間マップが作成できる。英国クランフィールド大学のブラックモア教授が収量マップを加工して作成したものに、数メートルメッシュの小空間でいくらか収量をあげたかを表示した収量マップがある(図3)。すなわち、粗収入から種子・肥料・農薬などの必要経費を差し引いたほ場内収益の空間変動を調べたマップである。このような情報を基に、農家は様々な経営戦略が立てられる。たとえば、収益の少ない空間にさらに肥料を投入して全体収量をあげる方策、もしくは収益性の低い空間での生産をやめてしまい、生産効率をあげて収益を増加させる方策などが作業戦略の候補となる。いずれにしても、数値化された情報は、今まで限られた「個人の知」として所有された篤農技術を「一般化」することを意味する。人間とほ場の結びつきを弱くして、ほ場を基盤とした食料生産が人を選ばない産業に進化することになる。

収穫後ほ場の土壌マップは、今のところ農家が収穫後に土壌分析を請負う業者、コンサルタント会社などに土壌採集・分析を依頼して、土壌中窒素、リン、カリなどの主要成分の他に、PH、カルシウム、有機質含量などを分析・マップ化してもらう方法によって欧米では実用化している。土壌サンプリングのための専用車両やトラクタの三点リンクに装備するタイプが製品化されており、これらの機器はコンサルタント業者などが所有して運用する。

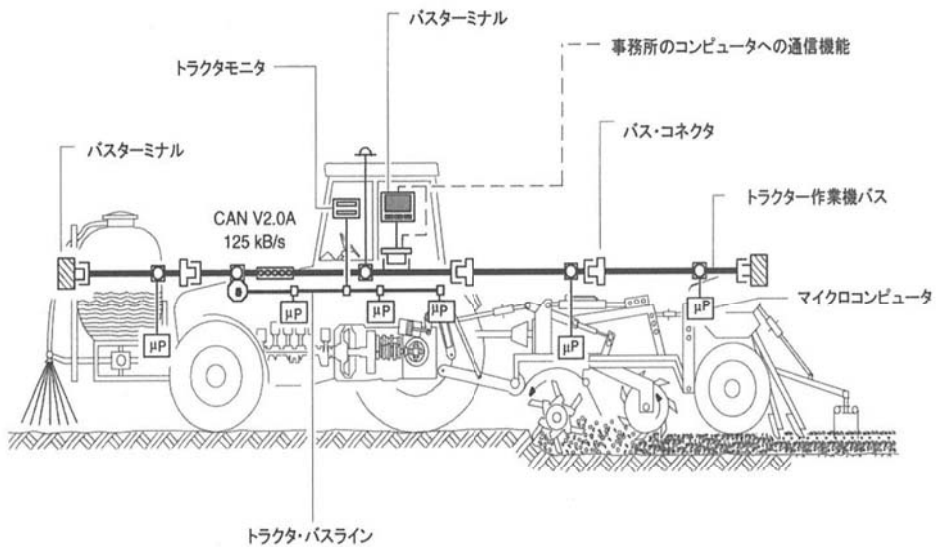


図5 トラクタ作業機の通信バスシステム (H.Auernhammer, ドイツ)

図4の土壌サンプリング車両は、GPSレシーバ、自己位置が視認できるモニター、土壌サンプリングのためのアクチュエータによって構成される。すなわち、収穫後のほ場から土壌をグリッド状にサンプリングして、GPSによる位置データとともに格納し、地図作成ソフトによってマップ化して、土壌診断を行う方式である。

作業機械メーカーも種々雑多なPF作業機をラインアップしている。基本的な仕様は、播種機・施肥機・防除機などについて自宅のPCで作成した作業計画（アプリケーションマップ）に基づいて、自動的に施用量をほ場内で調整、制御できる機械群（VRT）である。

このようなPF作業を行なうトラクタ作業機系は従来の三点リンクヒッチといった物理的な連結だけではすまなくなってきた。事務所のPCなどで作成したアプリケーションマップに基づいて、トラクタからの信号によって防除機の噴霧量を制御する、もしくは、施肥機の肥料線出量を制御することが必要になったからである。

このような背景から、図5のようなシステムストラクチャを有するトラクタ作業機間の情報通信プロトコルの標準化が行われている。自動車用としてすでに規格化されたCANシステム（Controller Area Network）の農業機械版であるが、ISO規格（国際標準規格）としてすでに認可済みである。ドイツで

はLBSバスシステムと呼ばれ、Fend社のトラクタに搭載されている。米国でもバスシステム搭載のトラクタがCNH(CASE/NEWHOLLAND)社から販売されている。いずれにしても、この情報通信の規格化はトラクター作業機間の情報インターフェースのオープン化を意味するため、農業機械の国際的ポータビリティとPFの推進に大きな役割を果たす。

PFは前述したようにGPSが基盤技術である。したがって、GPSを有効利用することによって、「精密さ」と「快適さ」を両立させる技術が実用化している。コンバイン、トラクタなどの運行ナビゲータがそれにあたり、AgChem社やトリブル社で商品化している。このシステムを使用するとオペレータは、現在どこを走行しているのか車載モニターを介して知ることができる。さらに施肥作業のように既作業跡が認識できないときにもモニター情報を基に作業重複幅を精密に調整して運転することができ、高精度な作業が行なえることを謳い文句にしている。これに加えて、現在欧米の大手農機メーカーは自動走行システムについても精力的に開発を進めている。ジョンディア社/スタンフォード大学のGPS自動走行トラクタ、CNH社/イリノイ大学/北海道大学のセンサフュージョン自動走行トラクタ、ニューホーランド社/カーネギーメロン大学のマシンビジョンによる牧草刈取機などが代表的な研究開発プロジェクトである。これらの開発目標は自動化による軽労化と

もに慣行を越えた作業の高速化にあり、作業能率と安全性の両面に貢献できる技術である。

また、PF技術として情報流通の高度化により精密な経営を行う意思決定支援システムも普及している。たとえば、米国イリノイ大学に設置されている国立大豆研究所が維持管理しているStart Soyというホームページ(<http://www.ag.uiuc.edu/stratsoy/new/welcome.html>)がそれにあたる。このホームページは、シカゴの先物取引市場の大豆相場をリアルタイムで表示し、作業を決定するうえで有効なローカルな天気予報や専門家の営農技術指導などがネットワークを介してタイムリーに受け取ることができる。このようなインターネットという情報インフラの整備が農家の意思決定を精密に行うことに寄与している。

欧米の指向している精密農法の今後の展開はセンシング技術と複雑要素を最適化できる数理解析技術の確立にある。現在、実用化・商品化されているPF製品は上述したように既存技術の範囲内で対応できたオフラインによる土壌分析によるソイルマップとPFコンバインを基軸としている。すなわち、マップベースPFである。さらに、現在商品化されているソイルマップと収量マップによるPF技術が複雑要素である作物・土壌・大気系をトラックボックスとして取り扱ったものであることも自明である。

しかし、残念ながらソイルマップと収量マップだけで、具体的な管理作業の処方せんを作成することは不可能である。この技術レベルをブレイクスルーするためには、作物生育期間中の内部システムの観測と制御、すなわち、ほ場空間のセンシングとその結果をもとに適切に意思決定して農作業を行うことに尽きる。このような観点から、マシンビジョンが現在そのセンシングシステムとして注目されている。屋外環境下のマシンビジョンは、すでにリモートセンシングの一研究領域として成立しているが、この技術をPFに応用しようとする試みである。

リアルタイムで適切な作業を行なうことを目的とした「センサベースPF」は、まさにこのセンシングがキーテクノロジになる。いわゆる、On-the-go方式と呼ばれるPF技術である。たとえば、カメラが雑草の繁茂状態をリアルタイムで認識して、雑草の存在しているところだけに除草剤を散布する防除機、コーン・麦などの窒素ストレスを観測して高ストレスの作物群だけに窒素を追肥する施肥機などがこれにあたる。これらの技術は大手農機メーカーで研究開発は進めている。

たとえば、コーン、麦、稲などは窒素ストレスが葉の可視領域の分光反射特性変化、すなわち色変化として現れることはよく知られており、この知見を利用すればマシンビジョンによる作物栄養ストレス検出センサが開発される。したがって、理論的にはCCDカメラのようなものに、透過波長が制限される

干渉フィルタを装備して観測したい波長領域の反射率を計ること、作物と土壌の識別や作物のストレス状態、病害虫の汚染度合などをリアルタイムで知ることができる。また、マシンビジョンにカメラキャリブレーションを施せば、その画像空間を実空間に変換することもでき、長さ・面積といった対象物の空間サイズを計ることもできるのである。

著者もイリノイ大学とともにアメリカの大手農機メーカーとの共同開発を通して、コーン・小麦・稲などの窒素ストレスを検出するセンサ、作物と雑草を認識するセンサ、作物の成長量を検出するセンサをマシンビジョンを用いて開発しており、数年中に実用化させる予定である。このようなセンサが開発された暁には、センサベースPFを実現した可変作業機が間違いなく次世代の農業機械の主流になると確信している。その時、図6のようなマシンビジョンが中核になることも間違いなさだろう。いずれにしても、欧米は農業技術がPF世代になって農業機械産業の構図が変わってきた。米国ではいまままで農業機械と無縁であったセンサメーカー、GPSメーカー、ソフトウェアメーカーが農業機械分野に参入してきた。また、学サイドも農業工学の研究者の他に、航空宇宙工学、電子工学、コンピュータ工学、ロボット工学の研究者がPFの推進に大きな役割を果たしている。すなわち、欧米では企業・大学が横断的に連携を取りつつ、農業が新しい産業に発展・転化する方向にある。

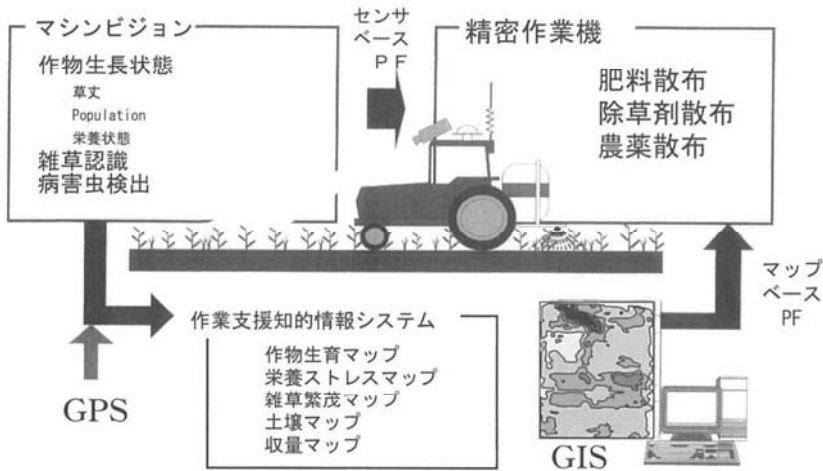


図6 マシンビジョンと精密農法の技術コンセプト

三、北海道における農業用ロボット 開発プロジェクト

北海道では平成十年度から三年間の産官学共同研究プロジェクトとしてNEDO地域コンソーシアムプロジェクトがスタートした。この研究プロジェクトはロボットによって環境保全型の精密な農業を実践できる技術開発を目指す。数誌にもおよび、大規模なほ場に対しても使用できるように、リアルタイムキネマティクスGPS(RTK-GPS)と光ファイバジャイロ(FOG)による知能ロボットシステムを開発している。すなわち、土地基盤型農業に対して最適でかつ自律的なオートメーションシステムの構築を目的とし、従来のトラクタに代わる自動化システムによって篤農家と同程度の質の作業を行わせる技術構築を狙っている。この問題を北海道大学農学研究科、工学研究科、国研、地域の農業試験場、工業試験場に散在する技術シーズを結集して、図7に示したようなシステムを開発することで解決を図る。本研究ではトラクタを使用する慣行の農作業を全てロボット作業できるシステム開発を行なった。図8に開発したロボットトラクタの機能をまとめた。

ロボットトラクタは作業経路を含む計画生成機能と生成された計画を忠実に実行できる自律作業機能に分類される。作業計画生成部は対象ほ場を完全自動で耕うん・播種などの作業を行

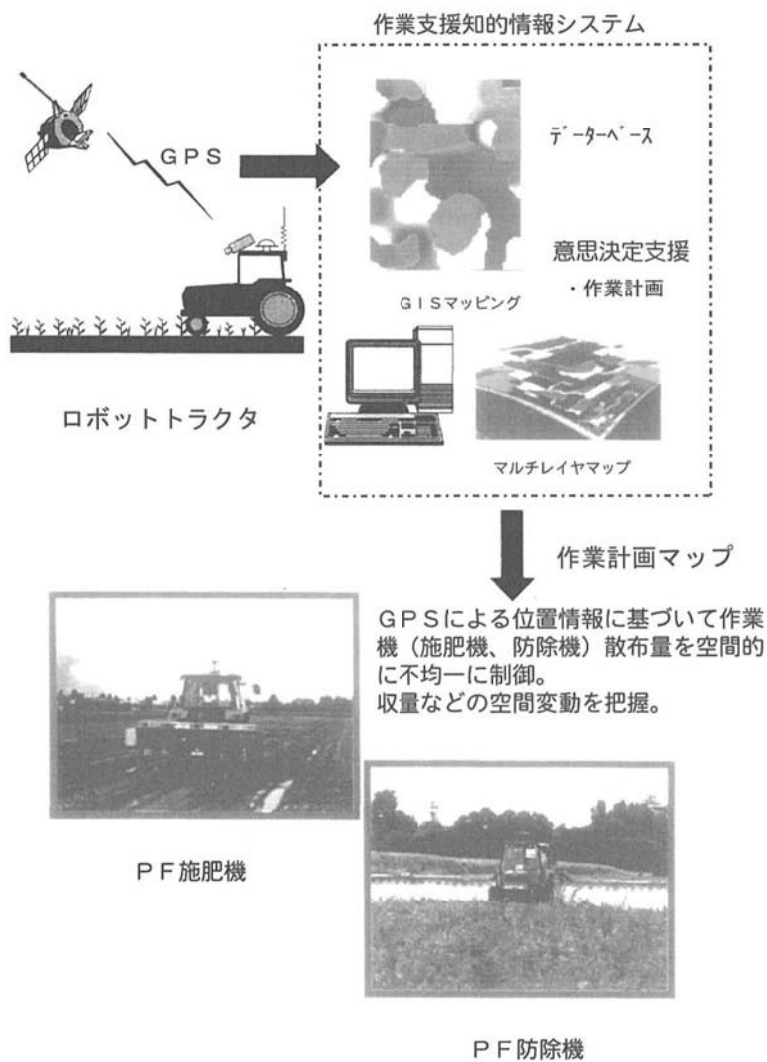


図7 精密農業を可能にするほ場管理制御システム

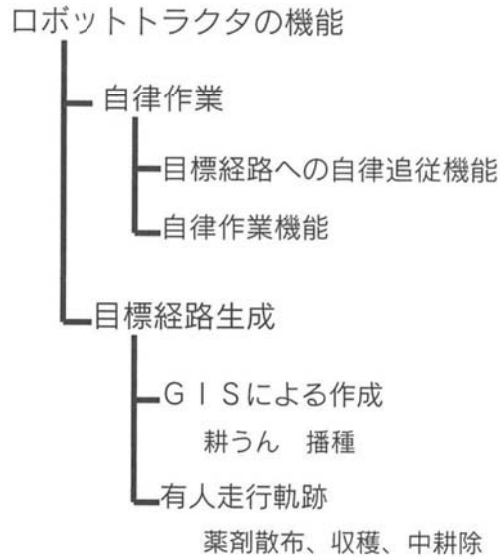


図8 ロボットトラクタの用途と機能

うときに、コンピュータの地図上（GIS）で経路生成と作業計画を立てることができる。作業計画とはロボットの前後進・停止操作、変速、エンジン回転数、PTO作動、三点ヒッチ昇降など通常のトラクタ運転時の操作を指し、これらの運転操作も事前設定できる。さらに、年間の作業の一部、たとえば耕うんと播種は従来の農家によるトラクタ作業で行い、それ以降の管理作業・収穫作業をロボットによって行うことも想定して、

人間の走行軌跡を完全にトレースできる機能も有している。したがって、この機能によって人間が播種した曲がった作物列間もロボット作業できる。このような作業経路を含む計画全体をナビゲーションマップと呼び使用している。自律作業機能は完全自律で農作業を行わせることができるナビゲーションシステムである。逐次の位置データとナビゲーションマップを参照しながら、操舵、変速、作業機昇降などを自動操作する。

図9にロボットの概観を示した。ベース車両は五六、六kw（七七PS）の四輪駆動トラクタで、自動作業機耕深・水平制御、倍速ターン、電氣的昇降装置（ボンバ機能）、シャトル（前後進）、ボタン操作式変速機能付である。開発車両は完全なロボット走行もできるように、操舵以外に作業機昇降装置、ブレーキ、主変速、回転数設定などがコンピュータで制御できる。航法センサは上述のRTK-GPSとIMUである。さらに、姿勢角センサ（Inertial Measurement Unit: IMU）を装備し、ほ場の凹凸走行時の傾斜による位置誤差を逐次補正できるように工夫している。RTK-GPSは10Hz周期で±2cmの精度で計測できる。

一九九九年十月にロボットによる耕うん作業、施肥作業、防除作業を行った。図10にロボットトラクタによるロータリ耕うん作業時の走行軌跡を示した。北海道大学農学部付属農場で実施した試験結果であるが、四行程の耕うん作業を1.2

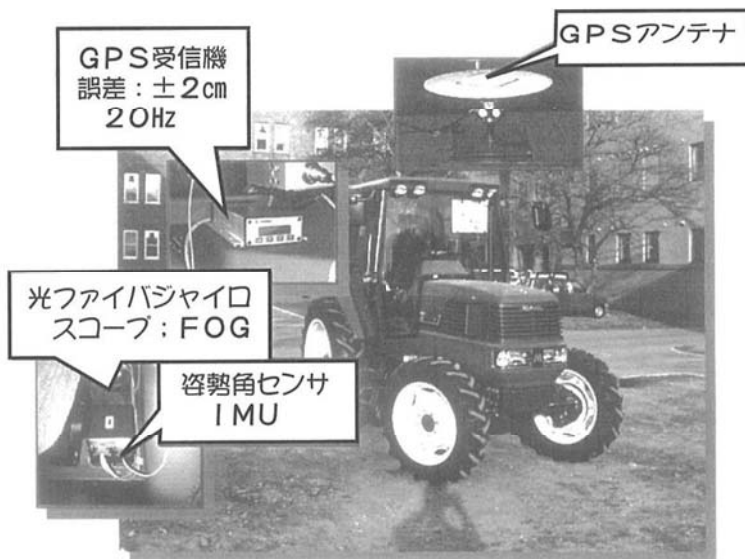


図9 ロボットトラクタと航法センサ



図10 ロータリ耕うん作業時のロボット走行軌跡

m/sの速度で実施した。試作ロボットの特徴としてほ場内の作業走行のみならず、農道移動もロボットが自ら行う。図中の始点は北大農場の農機具格納庫であり、軌跡データのとり、格納庫からほ場までの二〇〇m程度の移動走行も完全自律化できた。

図11はロボットによる耕うん作業時の走行精度を示している。四行程の耕うん作業時の標準誤差は8cm以内で、最大でも一四cmの走行誤差で無人作業が可能であった。第三行程の走行中の誤差推移も併記したが、±5cm程度で目標経路に追従できていることがわかる。ただし、農道移動時に誤差の増大が見られ、最大四二cmの横方向偏差が確認された。この誤差は農道の直角旋回時に生じたものであるが、作業を伴わない移動走行ではこの程度の走行誤差は問題はないと判断している。本ロボットは施肥作業や作物立毛中の防除作業もでき

耕うん作業時の走行誤差

	R. M. S.	Max
農道 (往路)	14cm	42cm
第 1 行程	8cm	12cm
第 2 行程	7cm	14cm
第 3 行程	2cm	8cm
第 4 行程	3cm	5cm

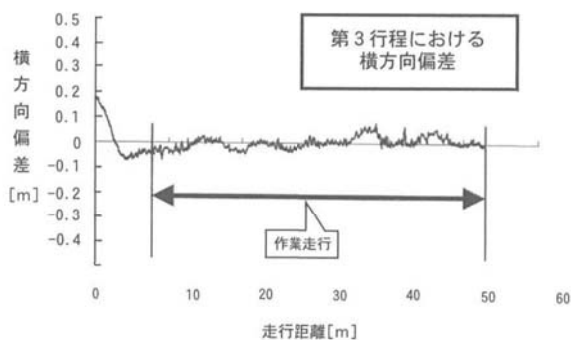


図 11 ロータリ耕うん作業時の走行精度

る。管理作業などは特にロボット走行が難しい作業であるが、作物を踏みつけることなく 2.0m/s の速度までの確に作業を実現できた。

四．まとめ

次世代の農業技術として精密農法と農業のロボット化について解説した。欧米の農業は北海道農業に近い。すなわち、北海道農業が抱える問題は程度の差はあれ欧米にも適用する。北海道ではこのような背景から、NEDO地域コンソーシアムプロジェクト「大規模農業向け精密自律走行作業支援システムの開発研究」において自律走行トラクタと精密農法に関する技術開発を行なっている。北海道農業の抱える農業従事者人口の減少と高齢化の解決策は、農作業技術の革新的発展による軽労化と省人化を進める以外に残されていない。加えて、国際的にも農業用車両の自動化技術は待望されている。本プロジェクトは国際的なマーケットを念頭に置いており、この新しい農業技術を五年後には市場に出すことを目指している。

△引用文献▽

新エネルギー・産業技術総合開発機構

平成十年度地域コンソーシアム研究開発事業

『大規模農業向け精密自律走行作業支援システムの研究開発』

(第一年度) 成果報告書、平成十一年三月

これからの農業機械化

(社) 北海道農業機械工業会 専務理事 村井 信仁

一. 変革期を迎えた農業

後継者がいないなどの理由で離農が増えている。このままの状態が続くと、五年後には北海道の農家戸数は六万戸になると予測されている。かつての四分の一の農家戸数であり、一戸当りの耕地面積は二〇畝に達する。北海道農業は大きな変革期を迎えていると言える。(図1、2、3)

一方、農産物の政府支持価格は、何れも下落し始めており、これが引き上げられる可能性は世情から判断して全く無いと言ってよい。生き残ろうとする農家は所得の歩減りを補うために規模拡大に活路を開くか、付加価値の高い野菜作や花卉作などを導入するかなどの選択を迫られている。ここで規模拡大を指向しようとする場合、離農の増加は土地の取得は別として借地が容易な時代であり、規模拡大に取組みやすい条件を整えている。

ここで想い出すのは、昭和三十五年頃の第一期離農期である。第二次大戦が終結し、十五年を経ると一般産業は回復して高度成長時代に突入する。都市に労働力が不足していたこともあって離農は加速する。

戦中、戦後にかけて食糧不足は深刻であった。都市は荒廃化して働く場所もなく、食糧にも恵まれなければ、農村に緊急避難して農業を営む人が多かった。農村に生活すれば、利益を得なくとも何んとか食べていけたのである。政府もまた食糧不足を補おうとして入植をすすめた経緯がある。

時代が変われば、農業を企業としてとらえなければやっていけなくなる。昭和三十五年頃から離農が増えるのは、都市が労働力を必要としたこともあって、時代の変化であり、農業も改革期を迎えていたのである。中途半端な営農感覚の農家は経営として成り立たず、離農に追い込まれた。緊急避難の入植農家



村井 信仁 (むらい のぶひと) さん

1932年6月25日 福島県生まれ
1955年3月 帯広畜産大学総合農学科卒業
1970年4月 北海道立中央農業試験場
農業機械部機械科長
1971年9月 北海道立十勝農業試験場
農業機械科長
1985年4月 北海道立中央農業試験場
農業機械部長
1989年5月 (社)北海道農業機械工業会
専務理事

の離農が多かったのは事実であるが、離農は入植農家に限らない、所謂、機械化に乗り遅れた農家が経営として成り立たず、離農せざるを得なかったのである。

当時、トラクタの購入価格は住宅を一戸建設するのと同額であった。現在なら一戸の建設資金で五台のトラクタを購入できるが、一ドル三六〇円のレートであったこともあり、それ程高額なものであった。したがって、机上で計算すると、トラクタを導入しても経営的には全く成り立たないとされた。馬で間に合っているところに何故トラクタを導入するのかとさえ言われた程である。

しかし、生き残ろうとする農家がトラクタの導入に執着したのは、ヨーロッパの農業水準に追い付け、追い越せの目標があったからである。例えば、てん菜もばれいしょもヨーロッパの収量が一〇ヘクタール当たり四トンの対し、一ヘクタールに満たなかった。その理由は何かと探れば、気象条件に恵まれないことはあっても、それ以上の問題点と認識させられたのは、営農に対する力の差であった。端的には畜力による九〜一五cmの耕起深と、トラクタの力による二五〜三〇cmの耕起深の差である。つまり、トラクタの力によって土地の持つ潜在能力を活用し、倍の収量を確保していたことを知るに至る。馬に拘る限りにおいては、ヨーロッパに追い付けないことを悟れば、敢えてトラクタを導入する。それでは何で採算を合わせたかと言えば、識者が全く予想しなかった賃耕である。当時、耕土改善事業によって深耕の効果を広く認めていたこともあって、賃耕の面積には不足し

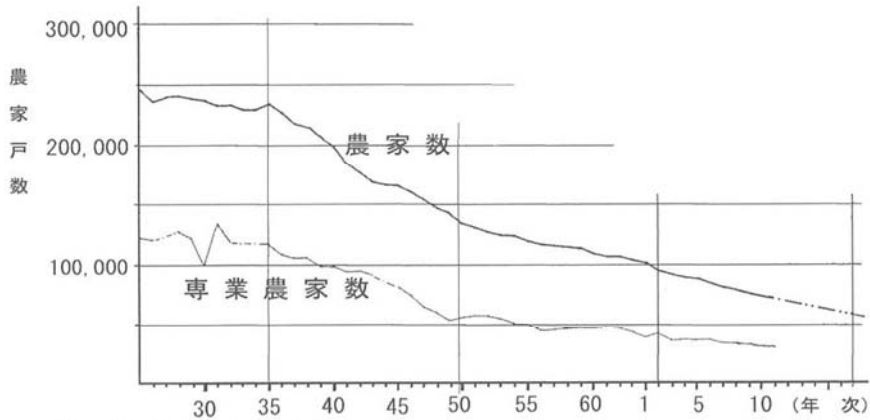


図1 北海道の農家戸数推移

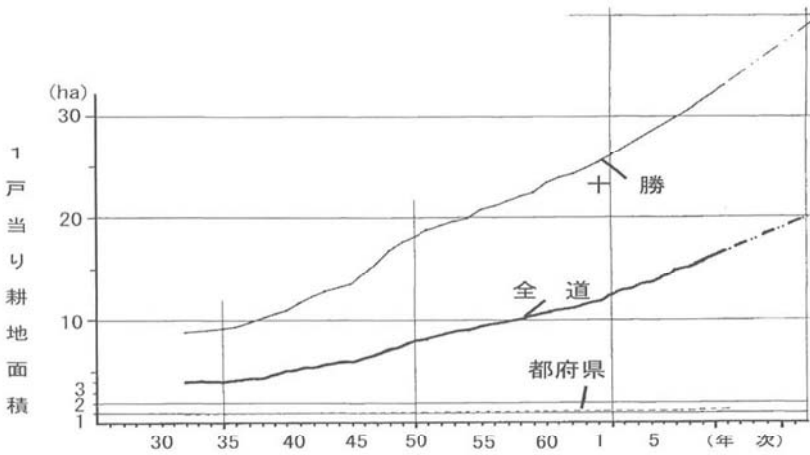


図2 一戸当り耕地面積の推移

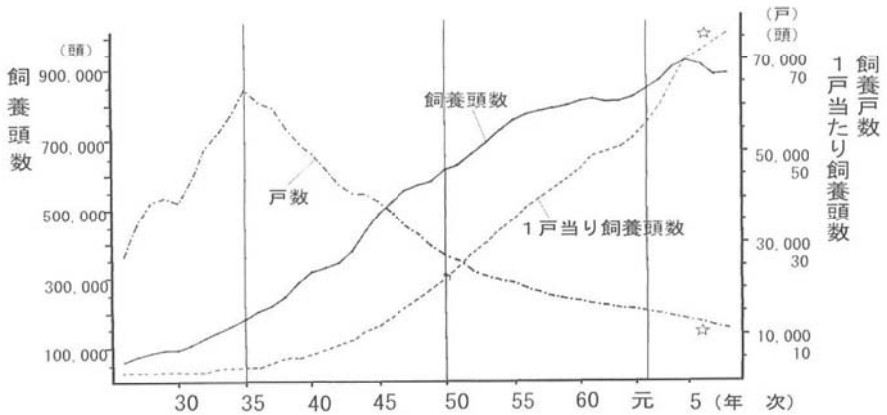


図3 乳牛の飼養頭数、飼養戸数頭の推移

ない。シーズンに夜通し働けば、数年でトラクタを減価償却できたと言われた。

高価なトラクタを購入して専業農家に徹しようとしたその心構えが、結局、生き残ることに成功した。目標を設定し、敢えて常識をも覆えた。その意欲には見るべきものがある。それが経営というものであろう。もっとも、時代が味方したことも確かである。農業も高度成長期にあつて増産、増産の時代である。作れば幾らでも売れた。土地の生産性を高めることによつて、所得を多くすることができ、規模を拡大して、さらに所得増に拍車をかけた。当時の若手の英断、涙ぐましい努力があつて、今日の大型機械化体系が構築され、また、てん菜の移植栽培に代表されるような革新的な技術開発があつて、今日では収量・品質共にヨーロッパを凌いでいる。生き残りをかけた農家は凄いいことをやったものと高く評価してよいであらう。

さて、時代が変わつて現代は農産物を作れば売れる時代ではない。売れる物を作る時代である。善し悪しは別として量から質への時代が変わつてきている。

離農も体質が変わり、以前と違つて必ずしも落ちこぼれるものばかりではない。後継者がいないことによる離農が多いのは、時代を反映している。子息が都会で立派に生計を立て、いるならば、離農を悲劇的にとらえる必要はなく、時代の流れととらえてよいであらう。日本の少子化傾向がやがて労働人口の不足を招くと、警告が発せられている。考えるに、体質は異なるが、農村にはこれに似たようなことが早く来てしまつてい

かもしれない。

遠からず農家戸数が六万戸になると言われる。ここで困るのは、農村には元々労働力が不足していることである。しかも今後共、労働力が増える可能性もないであらう。一方、一般的にみて働くことを美徳にしない風潮にあり、特に重作業を敬遠する傾向にあるのが実態である。こうなると、労働力不足の問題は深刻である。八方塞りの感じがしない訳ではない。困つたとばかりは言つておれない。考えるに、この閉塞状況は革新的技術開発のチャンスと言えないことはない。状況、内容が異なると言えないことはない。状況、内容が異なるとは言え、昭和三十年代にトラクタを導入する時も、欧米の農業に比較して大きな技術較差があり、改革を迫られていたのである。しかし、トラクタはあまりにも高価に過ぎ、打つ手は無いとされていた。まさに暗中模索ではあつた。

しかし、人間は問題を抱えた時に強くなるものである。ともあれ現状に甘んずることは許されず、そこから脱却しなければならぬことを悟れば、先ず冷静に状況を分析し、目標を設定してその対応に努力するものであり、道は拓ける。かつてのように政府の支援を当てにできる時代ではない。総て自分の責任と裁量で事を処さなければならぬとすると、それなりに難しさを伴うであらう。もっとも難しいだけにやり甲斐も生まれると言つものである。

昭和三十年代のトラクタ導入の凄ましい経過に対比させて考えれば先ず実践である。考え抜いて何もしいよりも、確実に

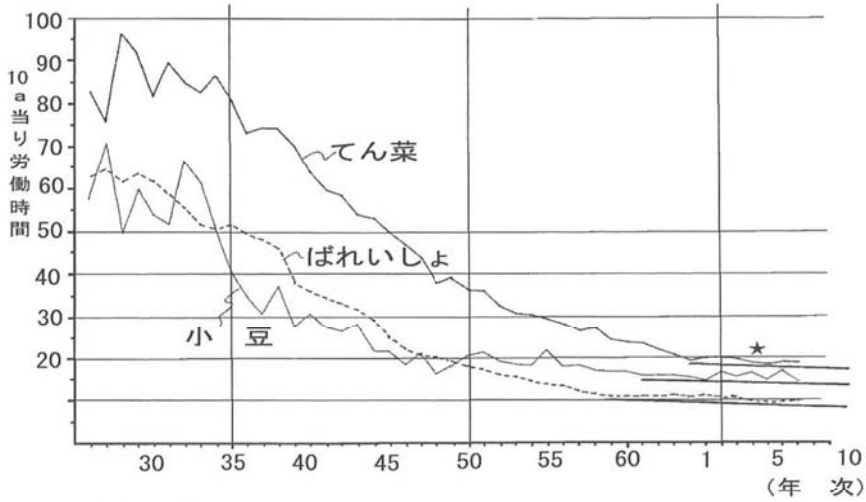


図4 労働時間の推移

道は拓ける。かつてのようにヨーロッパ農業を範例にする場合ではなく、独自の世界を画かねばならないので、それなりに難しさを伴うとしても、躊躇しておられる時代ではない。

二．期待される機械とは

これからの北海道農業は、規模を拡大する大規模型か、あるいは付加価値の高い作物を導入する集約型か、二分化するものと考えられる。どちらを選択するにしても、農村に多くの労働力を期待できなければ、新しい機械化に依存しなければならぬことは確かである。図4、5、6を参照されたい。農業機械の発達は大幅な省力化をもたらしたが、ここ一〇年来あまり省力化されていないのは問題であり、何とかしなければならぬ場面である。

また、省力化に加え増収を計る一方で、差別化が要望される時代にあつては、高品質化に生産体制をシフトすることも忘れてはならないであろう。仮に飛躍的な高品質が望めない場面では品質別に選別して質を揃えて出荷することなども新しい課題と言える。

新しい機械化となれば、相当の場面でロボット化が浮上しよう。しかし、如何に機械化と言ってもステップバイステップであり、現実に密着したものでなければならぬ。火星のロボットを地球から操作できるとしても、それは国家的な事業によるものであり、その技術がそのまま生物産業である現実の農業に

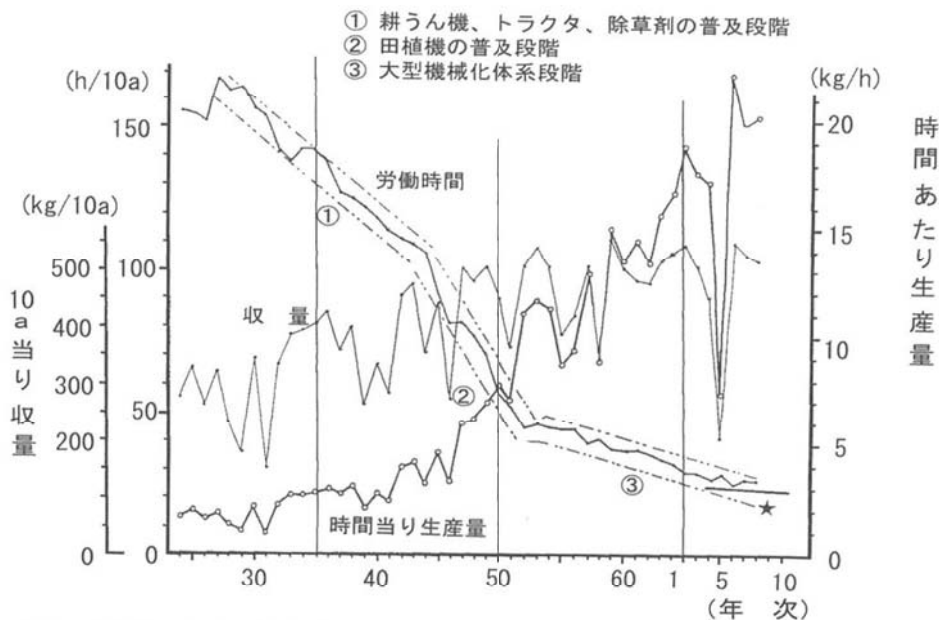


図5 北海道における水稻の収量・労働時間等の推移

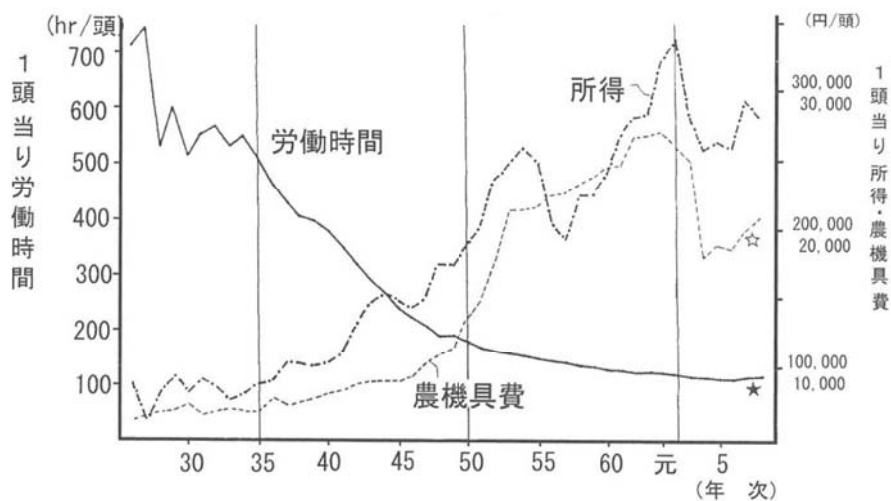


図6 搾乳牛1頭当りの労働時間・所得等の推移

利用できるとは限らない。

卑近な例では搾乳ロボットがある。夫婦二人で搾乳牛一二〇頭管理しようとする、労働に限界があり、搾乳ロボットの導入を考えなければならない。これ迄、搾乳ロボットは高価なものであることから、どんな性質の搾乳牛でも対応できるものでなければならぬとされてきた。しかし、これは機械に対する大いなる誤解である。本来、機械は条件を整備されて能力を発揮するものである。自動旋盤が夜通し仕事するのは、条件を整備しているからである。ましてや生物扱いで、どんな牛でも搾乳しようとする、機械が複雑になり、高価なものになって経済的に実用に供し得ないものになってしまうのが普通である。

ロボットに馴染まない牛は、どんなに搾乳量が多くとも他所に廻して相手にしないとするのが正しい。ロボット向きの搾乳牛を選抜するならば、ロボットは単純な構造で充分に対応できる。一日三回の搾乳ができれば、牛体を傷めることなく、搾乳量も増えて採算がとれる結果となる。ロボットの使用が増え、量産になれば、さらに性能は向上し、安価なものになるであろう。やがては牛の個性に対応する範囲も広くなると期待できるが、当初から過大な期待を寄せるべきではない。

田植機の開発過程を辿ると、こう言った機械の本質をよく理解できる。田植作業は辛い作業であったことから明治時代から機械化による労働負担の軽減、省力化が検討されていた。それが昭和四十年迄陽の目をみなかったのは、慣行苗に拘ったからである。慣行苗には個体差があり、これを三本ずつより分けて

植付けることのできるものは人間位のものである。機械化できない訳ではなかったが、航空母艦のような大きな機械になってしまい、水田を自由に動き廻ることもできず、また、高価な機械では経済的にもとても成立するものではなかった。

機械化を成立させるには、苗の個体差を無くすべきとされ、作物関係者の反対を押しきった土付き苗が、機械屋によって開発された。この結果、単純な構造の田植機でも正確に植え付けることができ、田植機時代を迎える。土付き苗は当初、邪道と非難されたが、土付き苗であるため活着性に優れ、浮き苗になることもなく、順調な生育が促され、結果として増収、高品質化をもたらし、新しい境地を開いてしまった。この場合も機械の本質を理解して冷静に対処したこと、常識にとらわれないことなく、新しいアイデアを駆使して周辺技術を固めたことによつて成功している。繰り返すが機械は決して万能ではなく、条件を整備されて能力を発揮するものなのである。

機械を開発する上で、もう一つ大切なことを述べると、開発担当者の思い付きだけでは決して形を整えることにならないことである。農業機械は生物が相手であり、地域毎に、年毎にその性状が異なるものであることに留意しなければならない。

わが国が誇る自脱型コンバインや普通型汎用コンバインは、それぞれ一〇年以上の歳月を要し、一機種二〇億円もの投資をして漸く形を整えている。その間、関係者は寝食を忘れた努力をしている。

どんな小さな機械でも、企画してから販売に移すまでには三

年の年月を要しよう。幾多のテストをして、自信をもつて市場に出荷しても、農業は条件が多様であることからクレームが続出する。それを一つ一つ潰してようやく商品になるのである。これは生物産業の宿命と言えるかもしれない。常に相手が変化するものであることからすると、単純な対応では形を整えないのである。総てを知りつくして、その上で構造の単純化を計るには、現場に詳しくなければならぬ。それが農業であり、一般工業との大きな違いであることを知るべきである。

三、移植栽培の機械

最近、水稻に少肥密植技術が注目されている。蛋白質が少なければ食味は向上する。そのためには窒素の施用量を少なくしなければならぬ。そうすると減収するので、株数を多くすることで減収を補おうとした。一〇坪当りの株数二・五万株を四万株にすることで蛋白質を下げ、食味を良くしてなおかつ収量を約一〇%多くすることに成功した。

品質を向上させ、なおかつ増収する技術は存在するのである。この場合のキーポイントになったのは、機械化による密植の省力化であることは論をまたない。育苗法の改善技術も加わったが、「二兎追うものは一兎も得ず」と言われながら二兎を見事に仕留めたのである。これが現代に要求される技術なのである。

もっとも、この技術は突然浮かび上がったものではない。昭和六十一年からてん菜は糖分取引制度に移行することになった

が、ここに端を発している。つまり、てん菜の含糖率を多くするためには窒素の投与量を少なくしなければならない。当然のことながらそれでは収量が低下するので、これを阻止するために株数を多くした。まんまと収量を全く低下させずに含糖率を約二%高めることに成功した。「必要は発明の母である」とはよく言ったものである。株数を多くすることは手間が掛かるとされると、育苗法に改良が加えられ、省力的に育苗ができるようになり、同時に全自動移植機も開発されて、移植は多労働性の概念をひっくり返してしまった。

わが国は移植栽培技術にはいろんな面で世界の最高水準を行うものと自負してよい。もっとも水稻やてん菜は世界が直播栽培であるのに、何故わが国だけが移植栽培かと糾弾されることがある。しかし、これは決して恥ずべきことではない。過酷な気象条件、少ない経営面積の中にあつて安定的に最大限の収量を確保しようとするれば、移植栽培が絶対的に有利なのであり、そうさせるを得ない環境の中から整備されてきた技術であることを知るべきである。また、低コスト化への近道は増収であり、増収技術に手を抜くことなど許されようもない。

食糧の自給率問題が云々されているが、わが国は土地資源に恵まれず、元々完全自給は困難な国である。例えば、現在輸入している食糧をわが国の平均収量で割ると面積が出る。その面積は何と一四〇〇万畝と計算されている。

わが国の耕地面積は年毎に減少し、五〇〇万畝としても、面積換算では二六%程度の食糧自給率の国である。省力化を優先

させて、収量を減らす技術などはとても認められることはできない。しかも、安定的となれば、移植栽培に軍配が上がる。ここでは直播栽培を否定するものではない。技術は常に進歩するものであることからすると、駄目とは言えないであろう。しかし、これ迄移植栽培にはどれ程の技術投資をしたものであるかを考えてみるとよい。水稲などは主食確保の名目で国を上げての革新技術の取組みがあった。そして普遍化した技術を直播栽培で引くり返えそうとするなら、それ以上の技術投資が必要なのである。

今、直播栽培にその技術投資をしないと云うのは、栽培技術の改善には限界ありと考えているのであろうし、移植栽培に優位性を認めているからと言えないことはない。ともあれ、何れ生育の安定した食味にも優れた直播栽培用の画期的な品種が育成され、直播栽培時代を迎えることもあろうが、それにはかなりの時間を要しよう。現状では直播栽培に中途半端な技術投資をするよりは、移植栽培にもなお改善の余地があり、そこに力を注ぐのが是と言えらる。

四．機械化の分化

農村に労働力が不足することから見れば、より省力的な機械の開発が求められるのは当然のこととして、一方では安い農産物が輸入される現状にあつては、国内産はより高品質化が要求される。とすると、機械化体系はかなり多様化するものと考え

られる。

畑作の場合、一〇〇畝規模に達すれば自個完結型で大型機械を導入するであろう。既にヨーロッパの展示会に行つて直輸入を進めている農家もある位であり、フランスの中型農家並みの徹底した合理化体系で臨むと考えられる。

五〇畝程度の規模であれば、自個完結型では機械費の負担が大き過ぎるので、かなりの場面で「コントラクタ」を導入すると思われる。例えば、耕起・整地作業、収穫作業などは直接生産性に関与しない。とすれば、「コントラクタ」に依存してもよい訳であり、浮いた労働力を緻密な管理を必要とする部門に向けて生産性向上を計るであろう。

こういった流れからすれば、耕起・整地機、収穫機等はこれ迄以上に大型化して省力化を目指すのに対し、施肥機、除草機、防除機等は精密化して生産性向上に直接的に関与する方向に発展するものと考えられる。

こうした観点からすると、中型トラクタにハイレベルのメカトロ技術を組み込んで、精密作業を確実にこなすものであることが要求されよう。一、〇〇〇畝単位の耕地規模であれば無人走行のトラクタの出番も考えられるが、五〇〜一〇〇畝単位の規模であれば、精密作業が優先する。例えば、施肥・播種作業で何が課題かと言えば、枕地に到着して折り返しの復路作業時に、正確に合わせ畦を定間隔を保つことである。現在はマール力をオペレータが辿ればそうなるようになっているとしても、オペレータは疲労で時にマール力を外してしまうものである。畦間

が乱れることは、後に続く除草、防除の精密作業を困難にしてしまふ。

人間は非常に有能であり、直進作業などいとも容易にこなす。馬力をフォローすることも巧みである。残念なのは機械と異なり感情的であり、疲労に弱い性質があり、時に運転を乱してしまふ欠陥があることである。今はメカトロ技術で前の作業の列条を拾って、正確に走行する技術開発が待たれる。

除草や防除作業でも同様である。畦間をトラクタが正確に走行すれば、オペレータは作業状態を注視し、調整することに精力を向けることができ、精密作業を成立させる。精密除草機や防除機の能力をフルに発揮させることができれば、それは作物の品質向上、増収に直接結び付いて大きな利益が生み出される。

五．クリーン農業対応

クリーン農業が提唱されて久しいが、減肥、減農薬農業は現実にはそれ程進展していない。これは適切な減肥、減農薬でなければ著しく生産性を低下させてしまったためである。そこで圃場の地力が場所別に測定し、地力地図を作成して、その数値に基づいて施肥量、農薬投下量を設定する技術開発が試みられている。必要最少限の量で最大限の効果を期待しようと言うものである。既にコンピュータ制御の施肥機、防除機が開発されているものの、これが未だプログラムに従った形で使われるに至っていない。何故かと言えば地力地図の作成がそう簡単では

ないためである。

二〇年程前から「空から見る農業」でリモートセンシング技術が盛んに研究された。上空からの写真の色分けで圃場の水分状態、有機物量、作物の生育状況、熟度等が判別できるとされ、緻密な管理ができるようになったとされた。作物の生育状況、熟度等を知る上ではある程度能力を発揮したと思えるが、水分や有機物量ではどうも曖昧のようである。膨大な費用を投入して実地検証しても、色彩との間に必ずしも明確な関係が見出されず、その処理に窮している場面があると聞かされている。十勝は圃場区画が大きく、平坦なようでも土壌凍結が烈しいので、融雪時にはかなりの水蝕がある。加えて、春先は季節風で風蝕があつて土壌条件は多様である。土壌の色は刻々と変化すると、水分や有機物量に結び付けて判別するのが難しいらしい。

地力地図が作成されないことには、数値制御の施肥も防除もできないので、他の方法で地力地図が作成されないかを検討することになる。最近ではカーナビゲーターが発達して一般化している時代である。ランドサットを使って小麦を収穫するコンバインの位置を検出することは容易である。位置を検出しながらその場所の収量を記録させると、収量地図を描くことができる。収量 \parallel 地力と考えて施肥、防除をすればよいとするのが、最近の欧米の考えである。欧米の場合、ほ場区画が大きく、土地条件もわが国よりも変化が少ない。小麦の収量をそのまま地力と考えてよいであろうが、わが国の場合、収量構成が複雑に絡むので、収量 \parallel 地力とすることが疑問視されている。湿潤地

帯にあつては、水分が収量に大きく関係するので、少なくとも収量と同時に土壤水分も測定されるべきとされている。もちろん、測定間隔も密であることが要求されよう。理想的には土壤水分と同時に窒素、燐酸、加里量が測定できればよい。それが無理であれば、せめて肥料濃度（EC電気伝導度）が測定されるべきとされているが、これには相当時間を要するようである。

小麦の収量地図を描くことは既に完成した技術であるので、これにばれいしよの収量を測定する技術を開発し、二つの地図を重ね合わせる。さらに農家は圃場の地力状況をかなりの面で認識しているので、トラクタを走らせて農家の感覚を記録する。この三つ重ねれば正確な地力地図になるのではないかとされ、現在検討中である。近い将来、施行錯誤を重ねながら検討する内に比較的信頼できる地力地図が作成されるに違いない。その数値に施肥、防除技術が組み立てられると面白い。「子孫に美田を残す」ことに現代の先端技術を駆使するのも大切であり、忘れてはならないであろう。

六．結語

景気回復に大きな期待が寄せられているが、一般の景気がこれ以上よくなることはないと思える。現状をよとすべきではなからうか。何故なら内需拡大と言われても一向に拡大する気配はない。一通り必需品が満たされていけば、更新期需要があるのみで、糸程の発明がない限り、需要は動くにも動きよう

がないであろう。それに比較すると、農業の場合、離農が増えているので、変化の兆しがみられる。変化に対応しようとする、そこには革新技術が要求され、新しい需要があつて活気付くとと言える。

この場合、産官学だけでは新しい農業機械は形を整えないと思われる。産官学の中に農家そのものが入つてこなければならぬであろう。農家は単なる農業機械の消費ではなく、農業機械を使って生産性を向上させるメンバである。

しかも、農業は生物産業であり、その生態は多様である。農業機械は栽培に関する道具であるからには、その生態に適應するものでなければならぬ。農家は生態に精通していることか
らすれば、メンバに加えないことには、高度化時代に満足できる機械にはならないであろう。

アメリカの研究者に接すると、冒頭農家が何を考え、何をしようとしているか、それに対し我々が何をもちて貢献できるか
と言いつのが常である。研究開発の原点は現場であることか
らすれば、当然の発言であり頷ける。

繰り返すが、農村にはますます労働力が不足し、機械に対する依存度がこれ迄以上に高くなることは間違いない。新しい時代に備えて、省力化ばかりでなく増収、品質向上にどう絡むかも課題である。高度な技術が要求されるにしても、これだけ工業技術が発達しているからにはやり終わらせない訳がない。研究開発の正念場とも言えるが、関係者がどのように結束するかも大切な場面である。