



直線アシスト機能付き田植機（農水省HP）

目 次

特集 スマート農業をめぐる

- スマート農業技術が要請される背景と今後の方向 ……梅本 雅（4）
 新基本計画・SDGs・新型コロナ禍の地平から
 スマート農業を考える ……谷口信和（18）
 スマート農業と農業生産構造 ……秋山 満（24）
 スマート農業に関する論点 ……友田滋夫（29）
 スマート農業技術とその利用主体 ……神山安雄（36）
 スマート農業技術について考える
 —梅本論文へのコメントを含む— ……服部信司（40）
 木を見て森を見ていないスマート農業技術
 —実現すべき具体的な営農体系と
 農業経営の確立は今後の課題— ……安藤光義（44）
 スマート農業の多様性に期待するとともに視点が重要
 ……堀口健治（49）
 スマート農業への期待と不安 ……矢坂雅充（53）
 畜産分野におけるスマート農業の到達点と課題 ……小林信一（57）

国際農研研究成果報告

- 乳牛ふん尿堆肥化過程における温室効果ガス N_2O の排出
 ……前田高輝（60）

〔時評〕 米の管理をめぐる ……KY（2）

☆表紙写真 石部の棚田（静岡県松崎町）（全農林中央本部 高橋和哉）
 「農村と都市をむすぶ」2020年5月号（第70巻第5号）通巻第822号

米の管理をめぐる



米の国際価格の指標は、タイ国家貿易取引委員会公表のタイうるち精米一〇〇%二等の輸出価格（FOB価格）。その各月第一水曜日の価格は、二〇一九年十二月の一

トシ四一ドルから二〇年三月四八七ドル、四月は五八〇ドルに急騰した。米の国際価格の急騰は、新型コロナウイルス感染症の蔓延による社会不安の発生を抑えるため、タイやベトナム、カンボジアなど東南アジアの輸出国が輸出制限を行っていることが原因だ。

これに対し、日本では、飲食店などの休業や営業時間短縮、小中学校の休校等による牛肉・牛乳、生鮮野菜や花き等の需要減が生じ、他方で物流システムの乱れもでている。

そのなかでも、国民の主食の米、そして小麦は、十分な備蓄があり、十分な供給量があると、農水省は公表している（米に関するマンスリーレポート、二〇年四月）。

米は、政府の保有する備蓄分が約一〇〇万トン、農協・卸売業者等の保有する民間在庫が約二七〇万トン（二月末現在）あって、これは需要量の六・一か月分（約一八五日分）であるという。

小麦は、アメリカ・カナダ・豪州などの輸出国から国が一元的に輸入していて、外国産小麦の国内備蓄が約九三万トン（需要量の二・三か月分、約七〇日分）あると

している。

輸入に頼っている飼料原料のトウモロコシ、大豆油かす、コウリヤン等も、現時点では輸入と製造に支障がない。飼料原料の備蓄は国内に約一〇〇万トン（国の飼料穀物備蓄対策で約七五万トン、メーカー独自の在庫約二五万トン）あり、これは全畜種用の輸入量の一か月分ほど。さらに約一か月分の飼料原料が日本に向けて洋上輸送中だ。

米、小麦などは十分な備蓄があり、十分な供給量が確保されているというわけだ。



では、米などの管理の現状は、どうなのだろうか。

WTO農業協定のミニマムアクセス（MA）米輸入等の受け入れにともなって、食糧法が制定された（一九九五年施行）。食糧法により、米の管理にかかわる国の役割は、備蓄と貿易に限定された。

近年では、二〇一八年産米から都道府県別に生産数量を示すことが廃止され、半額になっていた販売農家すべてが対象の米の直接支払交付金も廃止された。国の役割は、一段と弱められた。

この結果、一八年産の主食用米の作付けが増え、新規需要米、とくに飼料用米の作付けが減少した。主食用米は、作付面積が一七年産一三七万ha（生産量七三万トン）から一八年産一三八・六万ha（七三三万トン）に増えた。これに対し、新規需要米は作付面積一四・三万ha

から一三・一万 ha に減少し、なかでも飼料用米は一七年度の九・二万 ha から一八年度八万 ha に減少した。

一九年度では、主食用米が作付面積一三七・九万 ha (生産量七二万トン) に減少したが、新規需要米も作付面積一二・四万 ha、そのうち飼料用米は七・三万 ha に減少した。二〇年度も、都道府県別意向をみるかぎり、主食用米が前年並み、飼料用米などが減少傾向だ。

米の販売価格(相対取引価格)は、一四年度の六〇 kg 当たり一万一九六七円を底にして、一六年度一万四三七円、一七年度一万五五九五円、一八年度一万五六八六円、一九年度一万五七二七円と推移している。

三月に閣議決定された基本計画では、主食用米の作付けをさらに削減し、野菜などの高収益作物への転換を促すとの方向が示された。



国の米麦管理は、特別会計をつうじて行われている。食糧管理法(一九一七〜九四年)の下での食糧管理特別会計では、国内麦勘定の損失を輸入食糧勘定(主に麦)の利益で埋め(内外麦コストプール方式)、国内米勘定の損失が食管特会全体の損失となる構造だった。六七年・六八年二年連続の大豊作によって生じた米の過剰問題は、食管全体の財政問題、農林予算全体の財政問題となった。

食糧法の下でも特別会計をつうじた米麦管理が引き続き行われている。二〇〇七年度からは大きくりの食料安

定供給特別会計が設けられ、農業経営安定勘定(所得安定対策)や農業再保険勘定(農業共済)などと並んで、食糧管理勘定を設けて米麦管理が行われている。

特別会計の手法の利点は、米麦の買入資金が食糧証券の発行により調達できること、特会内の勘定別の損益が勘定間の融通により埋められること、それでも足りない損失は一般会計からの繰入れて補えること等だ。会計年度ごとの決算では、在庫は棚卸資産として輸入・買入時の取得価額で評価され、近い将来の損失が覆い隠される。一八年度は政府保有の備蓄米一〇万トン、MA 輸入米三八万トンが配合飼料会社等に売渡された。MA 米の輸入単価は一トン七万円、飼料原料での売渡単価は三万円。売れ残りの在庫は、輸入単価七万円の資産評価だ。

一八年度決算の食糧管理勘定(米)は、売買損失五二九億円、管理経費一八億円、合計で七一億円の損失(うち国内米四〇〇億円、輸入米三一億円の損失)。

食糧管理勘定(麦)は、輸入麦(食糧用)の売買利益八三六億円に対し、管理経費が一〇八〇億円、合計で二四四億円の損失だ。食糧管理勘定全体(米麦)では、九五五億円の損失になっている。

輸入麦は、売買同時契約で輸入差益を得ているが、管理経費がかさんでいる。輸入米も、輸入差損を避けるために、売買同時契約に傾きがちな

国は、米の過剰処理と国際的な約束を巨額の財政支出で支えていることになる。

(KY)

スマート農業技術が要請される背景と今後の方向

農業・食品産業技術総合研究機構 梅本 雅

はじめに

本稿の課題は、スマート農業と呼ばれる新たな営農体系の形成が今後の農業経営の展開にどのような影響を及ぼすのか、あるいは、スマート農業技術によって、将来、どのような農業が展望されるのかを考察することにある。そのためには、まずは、スマート農業技術がどのようなものであり、経営的にいかなる特質を持つのかを確認する必要がある。一方、わが国の農業は多くの課題を抱えており、その現状についての理解も必要である。その上で、スマート農業がそのような課題の解決に寄与するものとなるか、また、その結果、今後、どのような農業像が展望されるのかという観点から整理を行う。

なお、後述するように、現時点においてスマート農業

技術として確たる体系が形成されているわけではなく、今は、その素材となる様々な部分技術が萌芽的に開発、実証されつつある段階にある。この点では、スマート農業技術の農業経営への影響を議論するにはまだ早計なのであるが、ここでは、実証データに基づく解析と云うよりは、今後の技術開発に向けて何が論点とされるべきかという観点から整理を行うこととしたい。

議論を行うに当たって、まず、水田農業を対象に、技術開発に関わる筆者の問題意識を述べておきたい(注1)。わが国の水田農業は、一九八〇年代以降、米の消費が減少する中で米価の下落と稲作の収益低下が進み、米の生産調整面積の拡大が図られてきた。一方、これと並行して農業労働力の減少も進み、二〇〇〇年代に入り、担い手の規模拡大が急速に進んできたことは周知

の通りである。一九七〇年代の稲作中型機械化体系の形成以降、省力化という点では大きな技術革新がなかった中で、今、まさに急務となっている労働力不足への対応としてスマート農業技術が要請される状況にある。

以上の整理がスマート農業を位置付ける上での前提となるが、一方、日本農業の将来方向を考える上では、そのような労働力不足への対応と合わせて、土地利用型作物の収量性の停滞という問題への対応も必要である。先の食料・農業・農村基本計画でも議論されたようにわが国の食料自給率は依然として低水準にあり、それが改善される状況にはない。国民に対して高品質な食料を安定的に低コストで供給していく体制の必要性は言うまでもなく、その基礎には、まずは、作物の収量性の向上がなければならぬ。したがって、スマート農業が展開した後の農業は、省力的であることに加え、土地生産性に優れた、また、農業経営として収益性、安定性の高いものであるべきである。この点では、将来の農業経営の姿を見据え、上記の問題点の解決と、あるべき農業経営の形成にとってスマート農業が有効に作用するか、あるいは、その条件は何かという観点からの検討が必要であると言える。

このような理解から、本稿の目的に即して筆者が主張したい結論を先取的に示すと、①スマート農業技術

は、労働節約的（省力的で、作業精度・効率が低い）であると同時に、土地節約的（収量性が高い）な技術として展開していくことが求められており、また、ここでは、②個々の部分技術の展開に止まらずに、部分技術を体系化したものとして、すなわち、スマート農業という新しい営農体系の構築という視点から取り組まれる必要がある、さらに、③スマート農業技術は、それ自体に技術体系や土地利用方式など、いわゆる農法そのものの転換を内包する機能は持たないことから、営農者、あるいは、関係主体が農業生産の仕組みとしてどのような方式が望ましいかを考えていくこと、また、スマート農業が日本農業の再編に寄与していくためにも、そのような新たな営農体系に沿った仕組みや体制を構築していく必要があるということである。

日本農業の現状

日本農業の現状や課題についてはすでに多くの指摘があることから、ここでは、上記のスマート農業技術の方向と関わって論点となる特徴的な事項を二点のみ指摘したい。

第一は、労働力減少からくる貸付け希望農地の増加に伴う規模限界形成の可能性である。農村は少子高齢化社会の先端を進んでおり、農業労働力の減少から、今後、

農地の貸付け希望が大きく増加していくことが予想される。事実、多くの担い手、特に、雇用型法人経営では急速な規模拡大が進んでおり、面積が一〇〇haを超える経営も特別な存在ではなくなってきた。ただ、ここで指摘したいことは、規模拡大が急速に進展しているということではなく、比較的早い時期に、増加する農地供給に対して借り手が応えられない事態が生じていくのではないか、換言すれば、担い手経営が限界規模に達する状況に至ることが懸念されるという点である。

土地利用型農業の担い手には個別経営（家族経営、雇用型法人経営、集落営農組織など様々な類型があるが、その中核は家族経営である。そして、例えば、水田作を基幹とする経営の場合、現状では、三〇〜四〇ha程度までは家族を中心に経営運営がなされるが、それ以上の規模になると雇用労働力が導入されるようになる。その場合、概ね六〇ha程度までは一〜二名程度の雇用導入で対応するとしても、それ以上になると数名の従業員を雇用する法人経営として展開していくケースが多い^(注2)。ただ、家族経営の規模拡大が進んだとしても、それらの経営がそのまま雇用型経営へと移行していくわけではなく、経営のタイプとしては家族経営に止まる事例も多い。これは、雇用型経営として展開していくには、質的にかかなり異なる対応を求められるからであ

る^(注3)。

一方、農林業センサスデータを用いて、離農に伴う農地供給の増加と、それを担い手がすべて借り受けると仮定した場合の担い手の経営面積を試算した結果によれば^(注4)、一経営当たり平均でおよそ四〇ha程度になるとされている。もちろん、これには地域性があり、農地流動化が進む平坦水田地帯を対象にした場合にはより大きな規模拡大の可能性を示す試算もあるが^(注5)、要点は、この約四〇haという規模は、現状では家族経営としては規模限界に近い面積であること、また、比較的近い時期（上記の試算では二〇二五年）にそこに至るだろうということである。このことは、農地供給が今後増えるとしても、それがそのまま担い手の規模拡大へと連動しない事態が生じかねないことを意味する。事実、筆者の経営調査においても、そのような状況から規模拡大のテンポが緩やかになりつつある事例も見られる状況となってきた。

また、雇用型経営の状況を見ても、規模拡大は進んでいるが、必ずしも労働力の確保が順調には進まず、従業員が退職し、経営内の労働力数がむしろ減少している事例も見られる。周知のように、全産業において労働力不足が進む中で、労働力の確保はいずれの企業にとっても大きな課題である。これに対して、賃金水準を含む就業

条件に関して他産業に比較し必ずしも有利な条件を提示できていない農業経営も多い中で^(注6)、今後、雇用型の法人経営がどれだけの労働力を雇用していきけるかは注意深く見ていく必要がある。指摘したい点は、担い手の規模拡大の進展を強調する段階を過ぎ、今日では、まさに喫緊の課題として、誰が、どのような方法で農地を維持し、食料供給を図っていくのか、特に、今後、さらに労働力が不足して行くことが予測される中で、それをいかにして達成していくかを議論すべき段階にきているということである。スマート農業技術は、まさにこのような背景のもとで要請されている技術と言えよう。

もう一つ日本農業の課題として指摘したいのが、土地利用型の作物における収量性の停滞である。この三月に食料・農業・農村基本計画が閣議決定されたが、そこでは、令和一二年度の生産努力目標が示されている。筆者は、以前にもこれまでの生産努力目標の設定における生産量、作付面積、単収等を比較してきているが^(注7)、表1は、それに今回の基本計画における目標値等を追加したものである。なお、ここで基本計画における生産努力目標の数字そのものの評価を述べたいわけではない。生産実績は統計に基づく実際の結果が示されたものであり、生産努力目標における作付面積や単収も、現状を反映した冷静な判断に基づく数字が設定されていると思われる

表1 基本計画における生産努力目標、作付面積、収量に関する実績と目標設定

基本計画		計画時の実績					12年後の目標設定				
		2000	2005	2010	2015	2020	2000	2005	2010	2015	2020
生産努力目標 (万トン)	米(米粉・飼料用除く)	897	849	881	859	775	906 (101)	849 (100)	855 (97)	752 (88)	723 (93)
	飼料用米			0.90	11	43			70	—	70 (163)
	小麦	57	86	88	81	76	80 (140)	86 (100)	180 (205)	95 (117)	108 (142)
	大麦・はだか麦	14	20	22	18	17	35 (250)	35 (175)	35 (159)	22 (122)	23 (135)
	大豆	16	23	26	20	21	25 (156)	27 (117)	60 (231)	32 (160)	34 (162)
	飼料作物	390	352	435	350	350	508 (130)	524 (149)	527 (121)	501 (143)	519 (148)
主要品目の作付面積 (万ha)	米(米粉・飼料用除く)	179	166	162	160	147	186 (104)	165 (99)	158 (98)	139 (87)	132 (90)
	飼料用米			0.20	2	8			9	—	14 (636)
	小麦	16	21	21	21	21	18 (113)	19 (90)	40 (190)	22 (105)	24 (114)
	大麦・はだか麦	5.5	6	6	6	6	8.9 (162)	9 (138)	9 (154)	6 (103)	7 (110)
	大豆	11	15	15	13	15	11 (100)	14 (93)	30 (200)	15 (115)	17 (113)
	飼料作物	97	93	90	89	89	110 (113)	110 (118)	105 (117)	108 (121)	117 (131)
主要品目の10a当たり収量(kg)	米(米粉・飼料用除く)	507	524	530	530	532	520 (103)	539 (103)	541 (102)	540 (102)	547 (103)
	飼料用米			590	511	538			800 (136)	759 (149)	720 (134)
	小麦	375	370	422	379	399	436 (116)	450 (122)	453 (107)	432 (114)	454 (114)
	大麦・はだか麦	368	362	383	316	289	396 (108)	394 (109)	391 (102)	358 (113)	337 (117)
	大豆	176	181	178	171	167	221 (124)	197 (109)	201 (113)	215 (126)	200 (120)
	飼料作物	4040	3800	3970	3590	3510	4,461 (110)	4,534 (119)	4,534 (114)	4,471 (125)	4,134 (118)

- 注1) 資料は平成12、17、22、27年、令和2年食料・農業・農村基本計画の生産努力目標。表示は西暦で行っている(紙面の制約から「年度」は省略)。
- 2) 本表の括弧内の数字は、基本計画の策定年度において、例えば、2005年度の実績が現状として示されている場合に、12年後の目標として2015年度の生産努力目標ではどの程度の数字が設定されているかを示したものである。例えば、2015年度の計画での生産努力目標(万トン)÷2005年度の実績生産量(万トン)×100として示している。なお、飼料用米の増加率は分母が小さいときに極端な数字になるため表示上の制約から「ハイフン」で示した。なお、実績は、基本計画策定時の2年前の年次の数字である。

れる。ただ、この二五年間の実績を見ると、いずれの基本計画もわが国の食料供給を増大させる方向で目標設定がなされ^(注8)、それに向けた取り組みが実施されてきたにもかかわらず、結果として、小麦、大麦・はだか麦、大豆、飼料作物といった土地利用型の作物の作付面積や単収は増えてはいない。

主食用米の生産量は消費の低下から減少しており、それに対して飼料用米の生産は増えているが、主食用米の減少を十分補うものではない。小麦、大麦・はだか麦、大豆、飼料作物の収量低下については様々な要因が指摘されており^(注9)、また、これらの作物は、畑作物の直接支払交付金に加え、水田での栽培においては水田活用の直接支払交付金も加わることから、生産増大は財政負担を増加させる。したがって、これらの作物の生産量の拡大をどのような仕組みで実施していくかについては検討が必要である。しかし、このような、いわば生産力停滞とも言える状態が四半世紀にわたって継続していることは問題である。この点では、生産性向上に向けた抜本的な取り組みが必要であり、スマート農業も、粗放的な生産方式として位置付くものではなく、収量向上を可能とする集約的な技術として展開させていく必要がある。

なお、このような作物の収量性の停滞は、農業経営の収益性の低下、あるいは、交付金があつての農業経営と

いう状況を生じさせる^(注10)。スマート農業は、新たな技術革新、経営革新を必要とするものであり、この点では、経営構造がどうあるべきかという視点からの評価も欠かせない。仮に、新たな機械・機器の導入を通して省力化が進んだとしても、それに伴い経費が増加することで農業経営それ自体の収益性が低下し、依然として交付金に依存するという状況が継続するのであれば、農業経営としての発展は期待できない。この点では、現状の農業が抱える課題を解決していくとすれば、収益構造を含む農業経営の質的転換も必要である。

スマート農業とは

スマート農業の意義や可能性を議論する上では、それらが実態としてどのようなものであるかを理解しておく必要があるが、これらについては、現在、スマート農業関連の実証事業が進められており、その取り組みの概要は農研機構のホームページにおいて示されている。また、農林水産省農林水産技術会議事務局のホームページにおいては「スマート農業技術カタログ」として多様な技術が紹介されている。これらの資料をもとに、開発済み、あるいは開発中の機械や機器、ソフトウェア、アプリケーションシステム等を整理したものが表2である。これを見ると、営農管理に関するソフトウェアや自動運

表2 ICT、RT、AIを活用した農業技術の例

RT(自動化技術)関係	ICT関係
・農業機械の自動走行(トラクター、田植機、コンバイン) ・マルチロボットトラクター監視システム ・GPSガイダンスシステム ・トラクターや田植機の自動操舵、直進運転アシスト ・ドローンによる防除作業、スプラッター散布、自動走行 ・無人ヘリによる肥料・農薬散布 ・畦畔除草機、除草ロボット(畦畔用、法面用) ・圃場での自動水管理及び広域水管理システム ・野菜等の自動収穫機 ・作業者への自動追従・運搬・データ収集(露地野菜)、管理作業用運搬台車 ・施設内での自動収穫(トマト、いちごなど) ・果樹の自動収穫(梨など) ・搾乳ロボット、自動給餌機 ・豚舎洗浄ロボット ・アシストスーツ、パワースーツ	・可変施肥、収量・品質コンバイン ・栽培管理支援システム(メッシュ気象情報システム) ・多圃場営農管理支援システム(地図情報システム) ・経営管理支援システム、農作業記録 ・水位センサー、水温センサー、土壌センサー ・施設の統合環境制御 ・生育診断・予測、生育モデル ・ドローンによる生育モニタリング、衛星リモートセンシング ・農業気象データ提供サービス ・農業技術の見える化、技能継承
	AI関係
	・果実の糖度予測 ・病害虫診断、雑草診断 ・熟期判定、生育時期の判定 ・牛の発情予測・行動観測 ・農業経営体数予測

注：本表は文中のホームページ等をもとに、スマート農業技術の例を項目として要約的に示したものである。なお、これらの中には、現在、開発中のものも含んでいる。

転に関する農業機械、センサーなど、主に、ソフトウェア、機械・機器類と、それを可能とする通信技術が中核となっており、この点では、「ICT、AI、RTを活用した農業」と理解できよう。換言すれば、スマート農業は、「データを活用した農業」とも言える。

政府の未来投資戦略二〇一八では、「農業のあらゆる現場において、ICT機器が幅広く導入され、栽培管理等がセンサーデータとビックデータ解析により最適化され、熟練者の作業ノウハウがAIにより形式化され、実作業がロボット技術等で無人化・省力化される。こうした現場をデータ共有によるバリューチェーン全体の最適化によって底上げする『スマート農業』を実現する」とされており、政策目標(KPI)として「二〇二五年までに農業の担い手のほぼすべてがデータを活用した農業を実践すること」を目指すことが設定された。上記のように、ポイントはデータの活用であり、そこにスマート農業の特質があると言っている。

また、自動化農機のように衛星データを取得することで自動走行を可能とする、あるいは、施設内での気温や湿度、CO₂濃度などのデータを収集して環境制御を行う、さらには、牛の行動を観察して健康状態の確認や発情検知に活用するなど、多数のデータの収集・解析により新たな情報(知識・知恵)を得ていくという側面があ

る。一方では、農業者が作業記録、生育データ、気象データ、土壌条件、会計記録など、自経営に関わる様々なデータを確認し、それを経営判断に活かしていく、すなわち、数字や画像、文字情報といった各種のデータを参照して営農を実施していくという側面もある。このように「データを活用した農業」には、データを収集し、様々な場面で利用できるようにしていくことと、それを農業経営の実践場面で実際に農業者が経営判断に活用していくという二つの意味合いがあると思われる。

スマート農業の特徴

上述したようにスマート農業技術といっても様々なあり、その特質についても一律には評価することが出来ない。そのことを前提に、技術として可能となることと、その性格上技術の適用範囲に含まれないことという観点から、農研機構が開発した自動運転田植機を事例にスマート農業技術の特徴を整理すると以下の通りである。

この自動運転田植機は、無人で水稻苗の移植作業を実施できる機械である。田植機としての構造、機能は従来のもので変わらない。しかし、自動運転田植機では、衛星データと、それを補正する基地局からのデータをもとに位置情報を得て、さらに、プログラムと、それらに基づきハンドルや速度を制御する機能を装備することで自

動走行が可能となっている。通常、三〇cmの条間で移植していくので走行上の誤差は数cm以内である必要があるが、そのような作業精度を熟練者とはほぼ同等の作業速度で確保できる。また、最初に圃場の三辺を乗用して走行することにより、あとは自動で必要な走行経路が形成され(注1)、最後の圃場から農道への退出はオペレータが実施する必要があるが、それ以外は機械が無人で走行し、苗の植え付けを行う。

このような高い精度での直進走行は、例えば、移植作業の経験がない初心者には難しい操作でもある。また、移植作業の結果(真っ直ぐに植えられたかどうか)は、外部から観察出来るということもあり、それが可能とすることは法人経営の従業員からも肯定的に評価されている点である。そして、田植機の自動走行が可能なので、その間、補助者は、自動運転田植機を監視しつつ、自らは苗補給の準備など補助作業に専念できることから、圃場作業者の削減など省力化・省人化が可能となる。特に、植付条数が多い田植機では一回の往復において補充すべき苗箱数も多くなることから苗の準備にどうしても人員が必要になるが、そのような組作業を行う経営、あるいは、家族労働力のみに依存する大規模経営では有力な省力化の手段と言える。

一方、自動運転田植機を用いるとしても、それが移植

作業であることは変わらない。そのため、苗の生産は依然として必要であり、また、移植作業時にも、畦畔横に準備された苗を田植機に積む作業は人力で実施しなければならぬ。工夫をすれば苗を自動で積み込むことも出来るかもしれないが、それを実施するとすれば多額のコストを要することが予想される。この点では、苗を必要としない直播栽培が有効であると言えるが、栽培方法の選択は自動運転とは別の問題である。すなわち、稲作の技術体系を今後どうしていくのか、水田利用のあり方はどうあるべきかは、別途、検討して行く必要がある。

この他、自動走行という点では、それが許容されているのは圃場内であり、現状では公道は走行できず（特区を除く）、人が農道から圃場内への田植機の侵入と退出を実施する必要がある。そのため圃場間の移動に多くの時間を要する場合には、自動化の効果を十分発揮することが出来ない。また、途中で故障した時の対応（自動でリカバリーできる機能）や、昔の暗渠の施工跡で地盤が弱く、田植機が走行不能になった場合の対応なども、基本的には人力に依存せざるを得ない。機能として実施できるようなったことと、まだ技術の適用範囲に含まれないことが残されているということであり、この両者の特質を意識した取り組みが必要である。

また、ICTを活用したスマート農業技術の開発も進

んでおり、例えば、農研機構が取り組んでいる栽培管理支援システムでは、農業者が耕作する圃場の近傍（1kmメッシュの範囲）での日別の気温、降水量、日照時間、全日射量、相対湿度等の気象データを一ヶ月先の予測値も含めて利用することが可能となっており、作物の生育モデルと連動させることで、生育時期や収穫期の予測、追肥の判断等の支援に利用できる。また、そのような栽培管理支援システムと自動水管理システムを組み合わせてすることで作物の生育ステージに対応したきめ細かな水位・水温の制御が可能となれば^(注12)、作物の収量性や品質の向上、あるいは、高温障害の回避に寄与することになると思われる。本来は、篤農家が稲を十分に観察しつつ実施していた稠密周到な肥培管理を、必ずしも熟練の知識、ノウハウを持たない従業員が省力的に実施できる可能性が生じてきている。ただ、このような栽培管理支援システムも、もともとなるデータは必要であり、それがあって始めて営農現場で適用可能な手法が構築できることになるという点に留意する必要がある。

さらに、上記のようなRTやICTと合わせて注目されるのがAIの活用である。このAIについて、農研機構では一昨年に農業情報研究センターを設立し、AIを活用したアプリケーション志向の研究を推進しているが、多くのソフトや機器においてすでにAIは活用され

ており、スマート農業の展開には不可欠なものとなっている。

このAIでは、デープラーニング（深層学習）や機械学習等の発達により従来は想定出来なかった解析が可能となっており、例えば、植物の病徴の判別などに関して熟練者と同等以上の識別も可能になりつつある。

AIの活用はそのような画像認識が分かりやすいが、その他、農業経済分野でもAIを適用した研究が進められている。前述したように、農業労働力が減少しているが、日本が少子高齢化社会にある中ではこれは避けられないことでもある。そうであるならば、今後、農業経営体数がどのように推移していくのかは地域の農業施策を検討していく上で不可欠であり、人・農地プランの実質化においても有効な情報となろう。また、担い手経営にとっても、自分が活動する地域において将来、どの程度の貸付け希望農地が出てくるかを知ることが、機械の整備水準や施設投資の規模を考える上で不可欠と言える。

このような農業経営体数予測に関して、従来は農林業センサスの構造動態表を用いて規模階層別の経営体数予測が行われてきたが、狭い範囲では予測精度が十分確保出来ないという問題があった。これに対して、機械学習とマイクロシミュレーションを用いた農業経営体数の予測も実施されてきている。この機械学習は人工知能の分

野で発展してきた技術であり、データから自動的に学習を行い新たな知識を導出するという手法である。そして、上記の経営体数予測に関する成果では、「機械学習の手法の一つであるニューラルネットワークにより個々の農業経営体の離農確率（〇～一〇〇％）を算出し、それをマイクロシミュレーションにおける各農業経営体の離農判定に活用する。そして、最終的にそれら各農業経営体の予測結果を積み上げること、地域全体の農業経営体数を推計する」（注13）という手順で計算を行っている。分析に用いるのはセンサス個票データのうち規模、経営主年齢、後継者の有無など二〇種類のデータであるが、これにより狭い範囲（旧村レベル）でも確度の高い（誤差率三％程度）予測が可能となり、上述した大規模な担い手の活動範囲に近いエリアでの予測、あるいは、一定数の戸数を持つ複数集落での土地利用計画や農業振興策に活用できるデータとなると思われる。このように、AIは幅広い分野において有効な研究手法となりつつある。

なお、近年のスマート農業技術の展開においては、ドローンによる高所からの生育モニタリング、赤外線での病虫害の検知、夜間における作業、においや揮発性物質計測など人間には実施できない事項も可能になってきている。このような技術が構築されていくことにより、熟

練者のノウハウの形式知化といった取り組み以上に、従来は得られなかった新たなデータをもとに農業者が営農面での経営判断を行っていくことも可能となっていくと思われる。

スマート農業技術の経済性

上述したように各種のスマート技術が創出されてきているが、実際の営農場面での導入はまだこれからである。したがって、スマート農業技術の経済性についても現時点では確たる評価は行い得ない。また、ICTやAI、RTは日進月歩の状態にあり、機能（スペック）やコスト、製品価格も大きく変化していることから（注14）、スマート農業技術に対しても、それがどの段階にあるのかを踏まえた上で評価していく必要がある。

このことを前提として、まず、論点となるのが自動化農機の省力効果である。しかし、現状ではスマート農機の利用方法についても試行錯誤の段階にあることに加え、安全確保のため、ロボット農機（トラクターなど）を稼働させる時は人が監視し、緊急時には停止等の措置がとれることが前提となっている。そのため、ロボットトラクターを使用する場合には、協調作業として二種類の作業を同時に実施していくか、同じ作業（耕起など）を隣接圃場等で実施する必要がある（注15）、この点では

省力効果が発揮される場面は限られることになる。北海道のように大区画の畑作圃場において、一人が二台のトラクターを操作し、同じ作業を並行して実施する、あるいは、耕起と播種などを同時作業として実施して行くような場合は作業効率の増加が図れるが、都府県分散圃場を前提とした協調作業では、機械の組み合わせや圃場間移動、補助作業に関わる制約もあり、必ずしも十分な省力効果を発揮できないケースも多い。表3は、これまでに実施されてきたプロジェクト研究における実証試験での自動化農機による省力化の状況を示したものであるが、ロボットトラクターについては耕起作業を三〇％削減、代かき作業を二〇％削減、自動運転田植機は田植作業を四〇％削減、自脱型ロボットコンバインは収穫作業を三〇％削減という結果となっており、台数増加に伴い二倍の能率が実現できている訳ではない。

これに対して、現状では自動化農機はどのような省力効果に比較して割高であり、省力化による規模拡大が計画通りに進まない場合には固定費の負担を増加させることになる。この点では、機械・機器に関わるコスト削減や低廉化、あるいは、シェアリングや外部委託の検討など、技術の導入コストを低下させていく取り組みが急務と言える。

このような自動化農機の導入以外にも、ドローンによ

表3 自動化農機の省力効果の現状

自動化農機	対象作物	対象作業	作業時間の削減率	作業概要
トラクタ	水稻・小麦	耕起	30 %減 1)	トラクタ2台を用いた同一作業の協調
	移植水稻	荒代かき	20 %減 1)	トラクタ2台を用いた同一作業の協調
	乾田直播水稻	播種・鎮圧	13 %減 2)	トラクタ2台を用いた異なる作業の協調。「播種→鎮圧」の連続作業。播種後の圃場の鎮圧を開始し、前の1台は別の圃場の播種を開始
	大豆	麦稈処理・播種	21 %減 2)	トラクタ2台を用いた異なる作業の協調。「麦稈処理→播種」を連続作業。麦稈処理後の圃場の播種を開始する前に1台は別の圃場の麦稈処理を開始する
田植機	移植水稻	移植	38 %減 3)	田植機1台を用いたワンマン作業。1人で苗等の補給も行う
コンバイン	水稻・小麦	収穫	30 %減 4)	コンバイン2台を用いた同一作業の協調

注：農研機構企画戦略本部農業経営戦略部松本浩一経営計画ユニット長作成資料による。表中の1) は千葉県横芝光町での2017年度の実証試験結果、2) は千葉県横芝光町での2018年度の実証試験結果、3) は宮城県亘理町での2018年度の実証試験結果、4) は農林水産省の25補正事業での成果である。

るセンシングと、それにより得られた生育データに基づく可変施肥も進められているが、同様の観点では、収量・品質コンバインを導入し、圃場別（場合によっては圃場内の場所別）に収量・水分・タンパク含量を計測し、そのデータをもとに、翌年度の基肥散布において可変施肥を行う取り組みもなされている。この場合、特に、低収量の圃場に対して施肥量を増加させることで収量増加を図っているケースが多い。一方、すでに十分な施肥量で高収量が得られている場合には特段の変化はない。すなわち、圃場間や圃場内の作物の低収量を補正する機能と、作物の収量性の水準それ自体を向上させていく取り組みは整理して検討して行く必要があると言える。

スマート農業技術を導入した農業経営のイメージ

以上、スマート農業技術の特徴について限られた素材をもとに検討したが、そのような技術を導入し、省力化と収量・品質の向上、さらに、それによる安定した収益を確保出来る経営としてどのような経営像が描けるだろうか。もちろん、そのような姿を描くには、今後の技術発展や制度的な改善を見込む必要があり、また、当然、地域、経営形態によって選択できる作目構成や適正規模は変わってくる。

将来の農業経営の姿については、食料・農業・農村基

本計画の参考資料である「農業経営の展望」においてスマート農業技術を導入した経営像が示されており、基本的な姿はこれが参考になる。このことを前提に、さらに、技術体系の高度化、あるいは、水田利用方式の転換という視点を組み込みつつ、例えば、関東地域の雇用型法人経営を念頭に置いて一つのイメージを示すと表4のような経営像が考えられる。その特徴点は、①主たる従事者一人当たりの耕作面積を、現状では概ね一〇haであるのに対して、一人当たり五〇haとかなり大きな面積を設定していること、②作物の収量性として高い水準を目標にしていること、③作物の構成において、従来の水稲、麦類、大豆に加えて、野菜類や飼料作物、緑肥なども加えた水田畑輪作体系を組み込んでいること、④技術として自動運転トラクター、田植機、コンバインなどの自動化農機や、各種のセンシング機器（この中には外部サービスを利用するものを含む）、営農管理システム、栽培管理支援システムなどのソフトウェアの導入などスマート農業技術を組み込んでいること、さらに、⑤作物の栽培体系としても、業務用良食味多収品種の導入など様々な新品種の採用や、水稲乾田直播栽培など新技術の導入を前提としていること、⑥土地利用型経営が展開する上での基礎的条件となる農地の連坦化・大区画化や、水利規制の弾力化（晩生品種等の適用拡大や通年での水利利用）、

表4 スマート農業技術を導入した水田作経営のイメージ

経営面積	300～400ha(水田)
労働力	構成員2名 常時雇用 4～6名 臨時雇用
作付体系 (水田利用)	水稲単作(湿田)、水稲・麦・大豆3年4作(平坦水田)、麦類・大豆・野菜類・飼料作物・緑肥等の水田畑輪作(傾斜地水田)
部門構成	水稲 150～200ha 麦類・大豆 100～150ha 野菜類(露地野菜) 20～30ha 飼料作物 50～100ha 緑肥等
主な機械施設設備	トラクタ 6台、田植機 2台、コンバイン 4台(自脱、汎用)、レーザーレベラー、播種機、乗用管理機、野菜用移植機、野菜用収穫機、フォークリフト、クレーン付きトラック、フロントローダー、乾燥調製施設、精米施設
導入するスマート技術	ロボットトラクター、自動運転田植機、ロボットコンバイン、ドローン、営農管理システム、栽培管理支援システム、地域及び圃区単位での自動水管理システム、など
導入する栽培技術・品種	水稲乾田直播栽培(ブ라우耕・鎮圧体系) 水稲緑植栽培 排水施工及び地下水位制御 総合的雑草管理 水稲・麦類・大豆多収品種 野菜類等新品種 10当たり収量 水稲700kg 麦類600kg 大豆350kg 10a当たり労働時間 水稲乾田直播栽培 6.0時間 麦類・大豆 3時間
販売対応	米は消費者、量販店、仲卸等に直接販売 小麦や大豆も一部は実需者と播種前契約して直接取引 野菜は加工業者と契約栽培
目標とする収益性	経常利益率 5～10% 1人当たり労働報酬 600～800万円 役員報酬1200万円
土地基盤条件	大区画汎用圃場 面的集積による連坦化 圃区単位及び圃地単位での土地利用 広域水利調整システム
社会基盤	基地局など通信基盤の整備、データ通信等に関する共通化

注：本表は、筆者のこれまでの経営調査に基づき、今後の展開が求められる水田作経営のイメージとして経営内容等を整理したものであり、実証結果、あるいは経営モデルによるシミュレーション結果に基づくものではない。

自動化農機の運用等を意識した圃区単位での農地利用の推進、⑦通信等に関わる社会インフラの整備、といった事項も組み込んでいることである。なお、その結果としての経営としての収益性や財務安全性等は農産物価格など市場条件に影響される部分が大きく、今後、上記の条件設定のもとでの経営シミュレーションを通して検証を行っていく必要がある。

おわりに

具体的な実証データに基づく分析が実施し得ていない段階で上記のような営農像をイメージとして提示した理由は、本稿の目的はスマート農業技術による新たな営農体系の展望について検討することにあったが、実態として今はまだ各種の多様なスマート農業技術が部分技術として構築されつつある段階であり、それらがどのように体系化され、社会に影響を与えていくかは確定できない中で、今後、どのような取り組みが求められるかという観点から整理を行うことが有効と考えたからである。

本稿で主張したかったことは、①個々のスマート技術について、営農現場での実証等を通じて不具合の解消、低コスト化、部品の供給やサポート体制の整備など、それが農業経営の中に定着していくための条件を整えていくとともに、その体系化を図っていく必要がある、②新

たな品種の開発と同時に、それら新品種が早期に普及される条件も併せて整えていくことが求められる、また、③栽培技術、あるいは、従来の水稻作を中心とする水田利用の転換も同時に図っていくことが重要である。^{注16}、そして、④規模拡大に向けて担い手の農地集積が進む中で、それらを面的集積につなげ、大区画化や圃場間移動の削減、あるいは、例えば、圃区やまとまった団地などより広範な範囲での農地の一括的な利用体制の構築と、自動化農機の公道走行に向けた条件整備を進め、自動化農機の稼働率を土地利用の面から最大化していくこと、また、⑤衛星データ、無線データなどのデータ通信に関わる仕組みの改善を進めていく必要があるということである。それら一体的な取り組みを通して、スマート農業が広く社会の中に展開し、新たな段階の「データを活用した農業」により生産性、収益性の高い農業経営の形成が可能となると思われる。

注

注1) なお、この問題意識について詳しくは、梅本雅(二〇一九)

「日本農業における技術革新一経過と展望」『農業経済研究九一(二)、p.二〇七-二二〇を参照されたい。

注2) このような経営規模と雇用導入を中心とする経営類型の選択については、梅本雅(二〇一五)「土地利用型農業の展開と課題」水田農業を主とする経営発展の類型」堀口・梅本編著『大

規模営農の形成史』農林統計協会、p5〇九一五四〇を参照。

注3) この点については、梅本雅(二〇一八)「雇用型経営の形成に向けた課題と方向」農業と経済八四(8)、p六一一四を参照されたい。

注4) 安武正史(二〇一九)「マルコフモデルによる農業経営の将来像」、八木・李編著『変貌する水田農業の課題』日本経済評論社、p二五七二二六〇。なお、ここでは一〇ha以上を担い手とし、これまでの離農率等の推移をもとに二〇二五年の予測値を計算している。

注5) そのような試算として松本浩一(二〇一八)「水田作経営における最小適正規模の上昇の可能性に関する一考察」茨城県南西地域を想定して「『関東東海北陸農業経営研究』、p七一七七があるが、そこでは、担い手に期待される耕作面積は、二〇三〇年時点で現状の四・八倍となると試算されている。

注6) 就業条件については様々な条件を考慮する必要があるが、例えば、賃金水準を見ても、農研機構企画戦略本部農業経営戦略部澤田守組織管理ユニット長作成資料によれば、農業法人の従業員の給与水準は平均年収で二九一万円(平均年齢四〇歳)であり、民間企業平均(約四〇〇万円)を下回ることが示されている。

注7) 注1の文献を参照。

注8) 表1の括弧内の数字は、主食用米を除くといずれも一〇〇を超える数値となっている。

注9) この点については注1の拙稿を参照されたい。

注10) このような大規模経営の交付金依存の状況については、八木宏典(二〇一九)「水田作経営の経営収支をめぐる諸問題」、八木・李編著『変貌する水田農業の課題』日本経済評論社、p二九一五六を参照。

注11) このような田植機の走行経路設計は、正方形や長方形になっていない不整形な圃場に対しても可能である。

注12) 例えば、夜間の水温が低い時間帯に灌漑水を供給すること、高温の影響を緩和することも可能となろう。

注13) 寺谷諒(二〇一九)「社会モデリング・シミュレーションと離農予測モデル」農研機構研究報告第一号、p八。

注14) 例えば、衛星データの受信機の価格も大きく低下しており、また、通信についても5Gなど新しい方式が出現してきている。

注15) 現状では、オペレータが自動化農機を常に監視し、緊急時には機械を停止できる体制にしておく必要があり、それは無線により指示する方式となっている。その無線の届く範囲は限られており(無線の種類や認可の状況により異なる)、その範囲内で自動化農機を稼働させていくことになる。なお、まだ営農場面では活用できていないが、複数台数のロボットトラクターを遠隔監視して稼働させていく自動化農機運用システムの開発、実証も進められてきている。

注16) この点については注1の文献、及びそこで記載されている総合討論での筆者の発言を参照されたい。

新基本計画・SDGs・新型コロナウイルス禍の地平からスマート農業を考える

東京大学名誉教授 谷口信和

1、今回の特集の位置

「スマート農業」とは何か、その全体像を耕種農業について明らかにしたいというのが、本誌編集委員会が特集を組むにあたって期待したことである。実は二〇一九年九月に農水省本省のスマート農業に関わる担当者の方から詳細なレクチャーを受けたのだが、その折の強い印象は「スマート農業技術」についての説明は分かるのだが、それらの技術を包括した具体的な農業経営の姿・形としての「スマート農業」というものが大変に分かりにくいということだった。

そこで、この点についての説明ができる方を探しているうちに、時間が過ぎてしまい、やはり研究者として最も詳しい梅本雅氏^①を招いて研究会を開催し、忌憚の

ない意見交換をして、それを特集にまとめようということに落ち着いた。

ところが、やっこのことで設定できた三月中旬の研究会の開催は新型コロナウイルス感染の拡大にともなう、会議などの開催自粛要請から中止されざるをえなかった。このため、やむをえざる代替措置として、梅本氏に報告内容を原稿の形で提出して頂き、編集委員がそれぞれの問題関心からこの原稿にコメントを加えることで特集とすることにした次第である。本誌の発刊が遅れたのもそうした事情に由来している。ところで、そこまでスマート農業にこだわったのには二つの理由がある。

第一は、二〇一三年一月に設置された「スマート農業研究会」を起点として本格的に始まったスマート農業の推進が農水省の農業技術革新政策の中核に据えら

れ^②、耕種・畜産部門全体にまたがって、かなり大規模な予算措置が取られてきたからである。今後の日本農業のあり方を考える上で、スマート農業に集約される「技術体系」がどのようなものとして展望されるかという点の吟味が必要不可欠だと判断されるからである。

第二に、異例の短期間の審議で決定された新食料・農業・農村基本計画は二〇三〇年度を目標年度とする総合食料自給率目標^③・農業構造の展望・農業経営の展望を提示したが、それらにスマート農業によって革新された農業経営の具体的な姿がどのように埋め込まれているかが基本計画の目標実現の成否の鍵を握るように思われるからである。

研究会での報告と相互討論が実現すれば、一層の論点の深化と課題の明確化が可能であったと推察され、本特集が「言いつ放し」に終わらざるをえないことは残念である。新型コロナウィルス禍を首尾よく乗り越えた後に、畜産・酪農部門などについてもスマート農業に関する検討を続けていくことを課題として残しておきたい。

2、スマート農業とは何か

スマート農業推進の現場の最先端で仕事をされている梅本氏にとってはある意味で自明のことだったのだろうか、論稿に対する一番目の疑問は、スマート農業について

て氏独自の明確な定義がされていないのではないかということである。

これに関連する箇所を少し長いが、引用してみよう。「政府の未来投資戦略二〇一八では、「農業のあらゆる現場において、ICT機器が幅広く導入され、栽培管理等がセンサーデータとビッグデータ解析により最適化され、熟練者の作業ノウハウがAIにより形式化され、実作業がロボット技術等で無人化・省力化される。こうした現場をデータ共有によるバリューチェーン全体の最適化によって底上げする『スマート農業』を実現する」とされており、政策目標(KPI)として「二〇二五年までに農業の担い手のほぼすべてがデータを活用した農業を実践すること」を目指すことが設定された。上記のように、ポイントはデータの活用であり、そこにスマート農業の特質があると言っている」としている。

これによる限り、未来投資戦略二〇一八の定義を採用しているとみられる。すなわち、①ICT機器の幅広い導入により熟練者の作業ノウハウがAIにより形式化され、②実作業がロボット技術等で無人化・省力化されている現場を、③データ共有によるバリューチェーン全体の最適化で底上げする農業がスマート農業だということになるだろう。

論稿冒頭の課題提起の箇所に示されている「本稿の課

題は、スマート農業と呼ばれる新たな営農体系」の考察だという指摘は、「スマート農業が新たな営農体系」という認識を示したものであり、未来投資戦略二〇一八での考え方と基本的に一致するといえる。

しかし、「はじめに」においては以上の考察の直後に、「スマート農業技術として確たる体系が形成されているわけではなく、今は、その素材となる様々な部分技術が萌芽的に開発、実証されつつある段階」と述べている。

ここから、二つの問題が発生してくる。第一は、スマート農業が本当に新たな営農体系を示すものなのかという問題である。第二は、スマート農業技術は部分技術であり、それ自体に技術体系や土地利用方式など、いわゆる農法そのものの転換を内包する機能はもたないとされている問題である。

この二つを合わせてみると、第一に、部分技術としてのスマート農業技術を体系化したものがスマート農業であり、それは新たな営農体系≡新たな農法であるという考え方と、第二に、スマート農業技術を体系化したスマート農業の実現に加えて、土地利用方式などの転換（梅本氏は水田畑輪作を念頭においている）を同時に実現したもののだけが新たな営農体系≡農法だという考え方がありうることになる。梅本氏の言いたいところは恐らく後者であろう。

なぜなら、新基本計画で提示された「農業経営の展望」においては「スマート農業技術を導入した経営像が示されて」いるが、これに技術体系の高度化、水田利用方式の転換という梅本氏の独自の視点を組み込んで、将来の農業経営の姿を描いたものが、表4に示された三〇〇～四〇〇haの水田経営面積を有する、常時従事者六～八名の関東地方の雇用型経営のイメージだからである。

3、基本計画―農業経営の展望にみるスマート農業

そこで、農業経営の展望（以下では「展望」と略記）において提示された水田作へのスマート農業技術の導入経営モデルとの簡単な対比を示した表によって梅本氏の構想を検討してみたい。

第一に指摘しておくべき点は、「展望」においてはスマート農業技術の導入がめざされてはいてもそれが必ずしも規模拡大につながらない事例が①、⑤、⑦などにみられ、二〇三〇年までにはスマート農業の実現ではなく、スマート農業技術の部分的な導入に止まることが想定されていることである。

第二に、②、④などスマート農業の実現がめざされていると思われる事例では経営面積が一〇〇～二〇〇haに達する積極的な規模拡大が見込まれてはいるが、常時従

表 「農業経営の展望」にみるスマート農業の方向

番号	地域	経営のポイント	経営形態	経営規模 ha		1人あたり経営面積 ha	土地利用効率%
				水田	作付面積		
①	北海道	スマート農機の共同利用	家族経営 2(1)+0+1	15ha	主食用米10 麦(大豆)2.5	6.0	100
②	東北	平場でのスマート農機導入・規模拡大	法人経営 2+3+2	100ha	主食用米60 麦(大豆)20	16.7	100
③	南東北以西	多収品種とスマート農機導入・規模拡大	法人経営 2+2+1	60ha	主食用米30・加工用米10 麦(大豆)20	13.3	133
④	関東以北	平場でのスマート農機導入・規模拡大	法人経営 5+4+9	200ha	主食用米150 輸出用米50	14.8	100
⑤	全国	園芸作とスマート農機の共同利用	家族経営 2(1)+0+1	9ha	主食用米6 ほうれんそう3	6.0	100
⑥	全国(中山間地域)	合併集落営農・野菜・耕畜連携・規模拡大	法人経営 2+5+5	80ha	主食用米40・飼料用米20 麦(大豆)15・キャベツ5	8.4	119
⑦		地域維持集落営農・自動化技術導入	法人経営 16(2)	25ha	主食用米20 麦(大豆)5	12.5	120
⑧	関東平担	農法転換型スマート農業経営	法人経営 2+4~6	300~400ha	主食用米150~200 麦(大豆)100~150 野菜20~30・飼料作50~100	50.0	?

(注) 1. ①～⑦は農業経営の展望、⑧は梅本稿による。
 2. 経営形態の欄の数字は家族(法人構成員)+常雇+臨時雇の人数。
 3. 経営面積/人は臨時雇を0.5人と換算した時の常時従事者数で経営面積を除いたもの。

事者一人あたりの経営面積はいずれも一五ha前後に止まり、飛躍的な労働生産性の向上(省力化技術)が展望されているわけではない。換言すれば、スマート農業技術でなくとも、既存の技術体系の先進部分や若干の改良でも十分にキャッチアップできる水準が提示されている。

第三に、食用米以外では小麦と大豆の作付が①、②、③、⑥、⑦と多くの類型で採用されて、自給率向上の重点作物に位置づけられてはいるが、スマート農業の実現を通じて規模拡大をめざし、高い土地利用率を実現するようなモデルは③と⑥に止まり、大規模経営への期待が希薄であるように見受けられる。

第四に、スマート農業実現を通じた最も大規模な経営類型を示した④では、輸出主導型農業成長戦略に規定されて、輸出用米に傾斜しつつもばら食用米の米単作体系がめざされ、水田の高度利用という方向が採用されていないことが特徴的である。

第五に、飼料自給率向上を通じた食料自給率向上への貢献が期待されるべき飼料用米は基本計画自体での位置づけの低下に対応して、中山間地域における複数の集落営農の合併に際して耕畜連携の一環として取り組まれる事例に止まっている。これまでに取り組まれてきた平場の大規模経営での作付拡大の方向性は示されていない。

以上のように「展望」におけるスマート農業技術の導

入やスマート農業経営の実現の方向を整理すると、梅本論文におけるスマート農業を実現した新たな大規模農業経営の特徴と課題は以下のように整理できるだろう。

第一に、高い労働生産性（省力化による労働力不足への対応…一人あたり五〇haの作業性）、水田畑輪作体系の導入を通じた多様な作物の作付（麦・大豆・野菜・飼料作物）と農地の高度利用（三年四作）、高い土地生産性（高単収…水稲七〇〇kg、麦六〇〇kg）によって高収益の農業経営が他産業並みの所得水準を実現し、スマート農業の目標を大きく超えた経営体の出現を展望している。最大の問題はこうした多方面にわたる技術革新が同時に実現できるか否かであろう。多品目の栽培管理の最適解がこれまでの経験知が少ないところで、どこまで個別品目に関する経験知の延長線上でAⅠによって得られ、大規模経営体のレベルで非熟練者にも共有されるかについては未だハードルが高いとみるべきであろう。

第二に、日本農業が抱えている課題を個別経営体のレベルで一挙に解決するような方向性が看取されるが、地域における営農類型を異にする他の経営体との連携、それを踏まえた地域農業のあり方についての考察が不可欠であるように思われる。例えば、販売対応をみると直接販売・取引・契約といった方向性がめざされているが、地域のJAとの関係やJAの直売所・道の駅などの地産

地消への対応が余り重視されておらず、遠隔地の広域流通といったこれまでの市場流通のあり方に対する再検討の視点が必要ではないかと思われる。

第三に、かなり大面積の飼料作物の作付が提起されているが、これは牧草とデントコーンを指しているのだろうか。WCS用稲や飼料用米が含まれていないのか、これらの点が大変に気になった。上述したように、食料自給率の向上にとっては水田に作付けする飼料用米の存在を軽視することはできない。湿田の存在・ダム機能を有する水田の多面的機能の積極的な評価（これは中山間地域に止まらず、平坦地域・都市的地域でも重要）を考えれば、田畑輪換や水田の畑利用という形でのデントコーンや牧草作付だけでなく飼料用米・WCS用稲の意義をもっと重視すべきであり、これらこそ大規模経営での対応を必要とするものであると思われる。

4、SDGsと新型コロナ禍の地平から基本計画・スマート農業を考える

最後に農業技術発展の考察を通じて将来の農業経営のあり方を検討する上で欠かせないのが、食料需給の現段階の構造・課題と将来の方向性についての吟味である。食料・農業・農村問題のいかなる課題に対応すべく日本農業と地域農業・農業経営は役割を果たすことが求めら

れているのか、この点を明確にすることを抜きにして農業経営の姿を展望することはできないからである。

例えば、「展望」において、今回は有機農業のモデルとして水田作と畑作について二類型が示されたが、二〇一五年の「展望」での一類型よりも充実しており、背景に有機農産物に対する需要の増大への配慮が読み取れる。しかも、今回は水田作では「自動水管理システムや自動草刈ロボットの導入」「営農管理システムの導入」といったスマート農業技術の導入が提案されている。だからといって、有機農業がスマート農業化する方向性がめざされているかといえば、恐らく否であろう。そこにもスマート農業技術・スマート農業を導入することの意味を農業の内部から、技術的な観点のみで考察してはならないという視点の必要性が指摘されるといってよい。

一昨年から現在までの日本と世界の動きをみれば、SDGsと新型コロナウイルス問題によって示された新たな課題として、グローバル化の負の側面の極大化があげられる。ここでは、気候危機による持続的な社会の解体（豪雨・山火事・竜巻）、感染症のリスク（豚に対するCSFやASFと人に対する新型コロナウイルス（豚ス）と国境の存在の意義、サプライチェーンの長大化・広域化のリスク（マスク不足問題、食料輸出禁止）等の問題が顕在化する中で、新基本計画が志向したような「外

需主導型国内農業発展」から「内需主導型国内農業発展」への回帰が、新型コロナ禍からの出口と同様に新たな規範New Normalへの移行として展望されねばならない歴史的局面にあることが示されている。スマート農業が内包しているグローバル化との親和性の問題についても改めて吟味することが求められている。

（注）

(1) 梅本氏は二〇一九年度の日本農業経済学会で、梅本雅「日本農業における技術革新」『農業経済研究』二〇一九年九月号、二〇七―二〇ページに整理される報告をされ、スマート農業の可能性について詳細な検討をされている。

(2) スマート農業研究会の中間取りまとめは二〇一四年三月に提出されるという異例のスピードで進められ、関係者の高い位置づけと意気込みが窺えるものである。

(3) 今回の基本計画では食料自給率目標に食料国産率という全く新たな指標が追加されたほか、食料自給力指標の改良が試みられたが、農政の方向づけに大きく影響するものとして、農林水産物・食品の輸出目標が提起されたことを指摘しておくことが重要である。

スマート農業と農業生産構造

宇都宮大学 秋山 満

1、スマート農業の研究方向

第五期科学技術基本計画（二〇一六）において、我が国が目指すべき未来社会の姿として「超スマート社会」（Society 5.0）が提唱された。Society 5.0とは、狩猟社会（一・〇）、農耕社会（二・〇）、工業社会（三・〇）、情報社会（四・〇）に続く、新たな高度技術社会を指すものであり、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させた社会システムとされる。ここでは、膨大なビッグデータを人間の能力を超えたAIが解析し、その結果がロボットなどを通して人間社会にフィードバックされることで、産業や社会に新たな価値が創造されるとするが、この過程でペジコンピュートリング事件が起きたことも記憶に新しい。こうし

た技術開発計画を受けて日本再興戦略二〇一六が「第四次産業革命」を提唱、その未来社会の農業版に位置づけるのがスマート農業だ。ロボット技術、ICT・AI技術を基礎に、農業の現場に「省力化、軽労化、精密化、情報化」を促進する高度技術革命を引き起こし、農業生産構造の再編を一気に推し進めることが企図されている。

こうしたスマート農業の射程距離は広い。①無人トラクタ、田植機、コンバイン等の農業機械の自動走行を主とする超省力・大規模生産システムの開発（規模限界の突破）、②ドローンやICT・AI技術による生育診断や遠隔自動制御による水管理等、作物能力の最大限發揮に向けた栽培管理技術の高度化（栽培管理における精密農業）、③アシストスーツや無人自走型草刈機等によるきつい危険な作業からの解放（農作業の軽労化）、④熟

練技能における経験や勘のマニユアル化や意思決定支援システムによる技能学習・継承システムの実現（熟練・技能の形式知化）、⑤WAGRI等による農業データ情報連携基盤確立による実需者・消費者との連携・共有とスマートフードバリューチェーンの確立（産地と消費者・実需者の直結・連携）、⑥こうしたスマート農業実現に向けたインフラ整備としての圃場整備や情報ネットワーク網の整備、農業関連情報の一元化と蓄積体制の確立（農村開発とインフラ整備）等が目指されている。現在はなお部分技術の開発と実証試験段階に止まるものが多いが、こうした技術開発方向はロードマップ化されるとともに、その体系化が意図されている。まだ研究開発段階であり、現場への普及にはなお時間ばかり経余曲折が予想されるが、農業へのIT・AI革命の本格的波及として、生産変革ばかりでなく流通、インフラ整備を巻き込んだ大きな技術革命が進行中であるとしてよい。

本稿では、梅本論文を参考に、世代交代を契機に深刻化している高齢化と農業労働力不足への対応とともに、新技術の担い手として経営構造のあり方に着目しつつ、主に生産構造の側面からスマート農業を考察する。

2、スマート農業技術の性格

先に見たように、スマート農業の研究開発分野は、①

の規模限界の突破を目指す労働生産性向上、②栽培管理高度化による精密農業を目指す土地生産性向上、③、④の苦汗・危険労働からの解放や熟練の形式知化による農業労働の参入・継承性確保、⑤、⑥の技術革新を支えるインフラ整備と新市場創造と、その技術革新効果の性格やねらいが異なっている。一般に、機械化を軸とする労働生産性向上技術は、規模の経済を背景にその普及過程で階層性を大きく示すのに対し、品種改良に代表される土地生産性向上技術は、追加投資の程度にもよるが普及の階層性が顕著でない場合が多い。③④の農業労働の参入・技術継承性は、雇用労働依存や資源管理労働に悩む担い手においてニーズは高いと思われる。⑤、⑥のインフラ整備は、地主や地域の同意が必要という限界を抱える一方、独自販売に取り組む農家においては、売り先のマッチングを求めた新市場創造には積極的と思われる。こうした性格の異なる技術革新の普及過程においては、必ずしも担い手経営体内部における体系的導入という形ではなく、こうした技術の性格差に応じた普及過程が問題となるのではないか。スマート農業の体系化という場合、こうした開発技術の性格を基礎に、普及の階層性や体系化レベルの重層性（経営体、産地、地域など）が検討される必要があるように思われる。本稿では、このうち、最も注目されている無人自動走行型の機械化体

系の普及可能性を中心に、担い手の経営構造との関連から若干の検討をしたい。

3、無人自走型機械化体系と経営構造

梅本論文でも指摘されているように、雇用経営や法人経営において一〇〇ha越えの経営体も珍しくなくなる状況の中で、近年規模拡大農家の拡大意欲が減退してきているように感じられる。急速な規模拡大の過程で圃場が分散し、それを取りまとめる過程に入りつつあることもあるが、このままでは世代交代に伴う貸付希望を受けきれない事態が発生するのではと危惧されている。他方、二〇〇五〇haの中堅層を中心に、米価の低迷と補給金依存の体質からの脱却を目指し、機収型の園芸作の導入等、大規模複合化の方向を目指す担い手層が着実に育ってきている。機械化技術の水準による規模限界もあるが、むしろ、ビジネスサイズの拡大を目指した雇用労働を含めた周年労働確保へ向けた経営構造の変化が進展しているように思われる。こうした担い手層分化の中で、規模限界を突破する無人自動走行型の農業機械普及が経営的にどう位置づけられるかが問題であろう。

第一に、経営体における稲作機械の一貫体系導入が可能かという問題がある。現状の技術開発では、田植や刈取の部分工程の機械化が跛行的に進んでいるが、そのワ

ンセット型導入は、投資規模はもちろん部分工程間の適正規模が異なり、経営内での体系的導入には制限が多いと思われる。稲作中型機械化体系の普及過程においては、こうした部分工程間の適正規模の相異を埋めるために、作業受委託による調整や生産者組織による組織的導入が随伴した。こうした新技術の導入においては、経営単位の自己完結型導入ばかりでなく、こうした組織的導入やサービス事業体の再評価が求められるのではないかとと思われる。

第二に、無人自走型機械の省力効果の評価の問題である。現行の試験段階では、およそ三割程度の労働削減効果があるとともに、従来組み作業で必要とした補助者の削減可能性が期待される。しかし、生産費調査によれば、三〇ha以上層の一〇a当たり費用合計に占める労働費のウエイトは二六・三％であり、労働時間に占める耕起・田植・刈取の主要三作業の労働時間は五時間程度、その農業労働時間に占めるウエイトは四〇％である（組織経営体もほぼ同様）。仮に三割の労働節約効果とすれば、主要三作業で一〇a当たり一・五時間程度の労働削減効果、費用で八％程度の削減にとどまる。手労働段階からの機械化段階と比較した場合、無人自走型機械化の省力効果は経営的に限界が多い。適期作業の確保、規模拡大効果、組み作業の単純化を考慮しても、導入費用にもよ

るが、その普及限界は意外と狭いのではないか。梅本氏はモデル経営（三〇〇×五〇〇ha）の算定にあたり、規模限界として一人当たり一〇haから五〇haへの拡大効果を期待しているが、やや過大な見積もりに思われる。また、その効果が仮にあれば、規模拡大よりもむしろ雇用労働削減に向かうのではないかと思われる。

第三に、作業管理と雇用管理の難しさである。無人自動走行型の圃場作業を雇用労働に依存した場合、現行の技術段階では、オペレーター機能は圃場内の三点測定と自走機械の入退出に限定され、もっぱら機械監視と補助作業に限定されることになる。作業管理は無人自走型機械作業の効率と精度が問題となる。作業効率は機械性能により担保されるが、故障や不測の事態による中断のあった場合、その対処が雇用労働の判断で可能かどうかである。離れた圃場での意思決定を雇用者に依存することが可能か、経営主との迅速な連絡体制でカバリーが可能か、経営主としては気がかりな点が多くなろう。また、作業効率は確保されても作業精度の問題が残る。主要機械作業は、その精度の結果は事後的にしかわからない場合が多く、結果として事後的に収量に影響する。大規模経営においては現状でも単位収量の低い経営が見られるが、こうした作業精度の管理困難が一因である。ICT等による意思決定支援システムで、こうした作業精度や

労務管理のカバリーが可能かどうかが問題となろう。

第四に、技術導入の前提となるインフラ整備の地域内合意の必要性である。こうした省力技術普及のためには、極力農地の団地化を進めるとともに、圃場条件等のインフラ整備が欠かせない。しかし、借地に依存する経営において、こうした借地の団地化や侵入退出路の設置、圃場整備の地域内同意を確保するには困難が多い。おそらく遠隔自動制御化した圃場水管理システムも、老朽化しつつある排水システムの下で、その導入には限界が多いように思われる。公的負担による圃場整備の思い切ったてこ入れが不可欠となろう。コロナ対策等で財政が逼迫化するなかで、こうした思い切った公的投資が可能かどうかが問われてくることになる。

第五に、担い手層における経営展開の分化の問題である。先に触れたように、担い手経営において、転作を含む水田農業の大規模化を目指す経営と、機収型の園芸作物を導入し大型複合経営を目指す経営への分化が進展しているように思われる。前者にとっては規模拡大限界の突破による規模拡大効果が期待できるが、後者の場合、儲からない水田部門の省力化を進めながら、むしろ複合部門の拡大に向かう可能性が高い。同じ大規模機械化の導入においても、その導入目的が異なれば、その導入方式や効果の発現も異なってしまう。新技術の導入主体と

して、こういった経営タイプを想定し、こういった導入方式を進めるのか、経営タイプに応じた普及システムへの具体化が検討される必要がある。

第六に、地域的土地利用の担保システムの問題である。梅本氏のモデル経営で示されるように、想定される経営像は三〇〇～五〇〇ha規模の大字単位に匹敵する大規模経営である。こうした経営が地域の土地利用の大宗を担う場合、地域の土地利用は担い手経営の安定性に依存することになる。かつて農外資本の農業参入が議論された際に、農外資本の撤退による地域土地利用の代替不能による混乱が議論されたが、同様の問題が起こりうる。担い手経営における病気や事故、経営的失敗による撤退が起きた場合、地域的なカバースystem、保険機能が無い。担い手の高齢化もあり、こうした問題はすでに起こっているが、より大規模なレベルでこうした問題が発現する可能性がある。大規模経営の育成にあわせて、何らかのカバースystemの補完が必要であらう。

4、おわりに

スマート農業の推進は、IT・AI革命の農業への本格的導入として、生産構造ばかりで無く、流通やインフラ整備、農村のあり方にまで及ぶ大きな技術革命の進展として捉える必要がある。技術革新のテンポは急激で

あり、生産構造や経営に及ぼす影響として先に危惧した論点も技術革新が乗り越えていく可能性が高い。

差し迫ってきた技術の普及段階において、当面、次の三つの視点が必要であらう。第一に、六〇～七〇年代の農業機械化の普及過程（モータリゼーション）と対比しつつ、技術普及の階層性と波及効果について、その異同の観点から農業構造に及ぼす影響を検討することが必要であらう。第二に、スマート農業は超省力大規模生産技術であるとともに、ITやAI技術を駆使した精密農業の可能性を切り開いている。こうした技術革新が、農法転換や土地利用方式にどのような可能性と限界をもたらしつつあるのか、サステナブル・アグリカルチャが求められる時代に対応しつつ、吟味が必要であらう。第三に、IT・AI革命はビッグデータの集積分析による新しい社会革命を引き起こすとともに、FAGGに代表される情報独占による統合化と支配系列を生み出しつつあると言われる。経営・生育情報はもちろん農村社会インフラや農産物市場にまで及ぶ情報統合化は、農業経営や農村の自立化の可能性を生み出す一方で、関連資本における垂直的統合に伴う農村や経営支配の手段ともなり得る。「データを活用した農業」における経営発展の可能性とともに、垂直的統合に飲み込まれる緊張・対立関係の検討も不可欠であるように思われる。

スマート農業に関するいくつかの論点

日本大学生物資源科学部 准教授 友田 滋夫

1. 地域に根差す農業は、「人」がいなくても成り立つのか

スマート農業は労働力不足との関係で議論されることが多い。梅本論文でも「労働節約的であると同時に土地節約的な技術」と位置付けられている。機械化・自動化が農業より早くから進んでいる工業においては労働力は機械によって代替されてきた。それは「機械・ロボットへの投資額と、労務費との代替関係の計算」に基づいて行われてきたのであり、自動化そのものを目的としたものではない(注1)。労働力不足によって賃金が上昇した場合、賃金の上昇度と施設整備にかかる費用を比較計算したのち、追加労働力を雇用するよりも設備投資をした方がコストダウンできるとすれば、労働力を雇わずに設

備投資が行われることになる。

しかし、自動化された工場でも人は重要である。トヨタ生産方式において「カイゼン」が可能なのは「サークル」という人の集まりがあるからである。工場で「代替関係」が成立するのは、いかに機械化・自動化しようとも、トラブルへの対処も含めれば完全な無人化はできず、事業場自体には「人の組織」が残っているからである。例えば最も自動化が進んでいる装置工業の典型として火力発電所をみると、かつては全てが手動で発電機のそばに労働者が配置されていた。鶴見第二火力発電所(一九八四年廃止)の一九七八年の運転経験を長谷川幸平は以下のように述べている「当時の火力発電所は全て手動で起動していました。ボイラーの出力をあげるためには、燃料を増やすためにバーナーを一本ずつ着けなくて

はなりませんでした。」「缶（ボイラー）の前に待機してバーナーを一〇〇%の負荷までタイミング良く着けなくてはいいけません。」「五本×四段で二〇本のバーナーを順次着けていきました。夕方になると解列します。解列のときには、発電の状態を注意しながら一本一本消していく作業をしました。」「タービンを起動するときには、蒸気のバルブを開けます。聴診棒というのがあり、そこにあてて聞いていると、蒸気の流れる音がします。それを聞く人が一人います。その人の指令に基づいて、バルブをゆっくり開けます」「これは、カン・コツの世界になります。バルブも遊びがあります。何回転戻して回すと保持するぞというカン・コツの世界でした。ボイラーも圧力が一定であればうまくいきますが、ボイラーのオペレーターが圧力をずらすと、回転数も狂ってしまいます。なかなかその辺の協調が難しかったです」（注③）。対して、現在では火力発電所の運転は「定例点検操作・諸テスト、保守作業のための機器の系統からの分離操作を除き、深夜停止や週末停止など通常状態からの起動停止は自動化されて」おり「中央制御室での一人制御（Single-operator Control 制御は一人で可能であるが巡視なども含め三人程度で運転）を志向」している（注④）。実際に「川崎天然ガス発電所においても二四名（三名×四班の交代勤務と四名の日勤、技術班四名とそれらの管

理職が四名）が勤務」（注⑤）している。つまり、極度に自動化された下でも、一事業所に二四名が集まっている。

そして、これだけの人のコミュニティの下で運転技術の継承改善がなされていくことになる。また、これら従業員は過疎化していない住宅地域から通勤しており、居住地では別の人の集まりがあるから、「町内会」や「学校」といったコミュニティが維持される。

とはいえこうした工場労働者の世界においても、生活圏の過疎化が起これば生活圏の維持について問題が生ずる。マンションで居住者が減少して修繕積立金が十分積み立てられない、管理組合が機能しない、町内会に入る人が減った結果ごみ集積所の清掃がされない、といった問題がこれである。とはいえ、人さえいれば、組織を再構築することは可能である。町内会に入らなくてもごみ集積所の利用で清掃担当を決めればよいし、PTAがなくなっても子供のために最低限必要な活動は残るだろう。

したがって、スマート農業の場合も、それが単に労働力不足対策（と土地生産性向上対策）といった面だけから語られてはならないだろう。労働力不足対策としてIoT技術が活用されるとすれば、「人はほとんどいなくていい」ということになる。確かに農業生産の面からすれば人の必要性は小さくなるかもしれないが、農業の場

合、生産の場と生活の場が重なっていることが多い。

現在のところ、労働力不足対策として、外国人労働者を導入する、あるいは都市農村交流を基盤として新規参入者を増やすといった対策がとられている。労働力という人が増えれば生活圏の維持もできるし、生産現場における人の集まりによる生産改善の提案も出てきやすい。

しかしもし、労働力不足対策を、人がいなくても生産できるような方向で行うとすれば、それは農村から人がいなくなるということにつながる。地域の維持も困難になっていくし、農業生産現場で人が集まって技術の継承発展を図ることも難しくなってくる可能性がある。

こうした問題を防ぐためには、労働力不足対策として一つの事業場にいる人は減ったとしても、IoT技術によって近隣の生産者をつなげるような方向を同時に進めるべきであろう。梅本論文で述べられているような「営農者、あるいは、関係主体が農業生産の仕組みとしてどのような方式が望ましいかを考えていくこと」を実現するには、農業経営にとって労働節約的でありながら、地域の農業にかかわる人は減らないような仕組みが必要となってくる。地権者にいかに地域農業や地域運営に関心を持ってもらうか、ということは、これまでも大きな課題となってきたが、スマート農業によってより労働力が節約されればされるほど、こうした課題はより大きな

っていくことになる。同時に生活圏の維持についても、少人数で維持できるようにIoT技術を活用するとともに、周辺地域の人どうしをこの技術によって結びつけるような取り組みが必要となろう。生産だけスマート化するのではなく、スマート農業はスマート農村生活も同時に視野に入れてシステムを構築していく必要があるのではないだろうか。

2. 代替関係は成立しうるか

もう一つの課題は、「機械・ロボットへの投資額と、労務費との代替関係の計算」上、スマート農業が普及しうるかどうかである。経営体が労働力を機械で代替するための基本的な必要条件は、ある業務を雇用労働者が行った場合の労務費がその業務を機械・ロボットで行った場合の減価償却費を上回る、ということである。つまり、労働力不足によって賃金が高騰するか、機械・ロボットの価格が下がることが必要である。そこで農作業賃金について全国農業会議所『農作業料金・農業労賃に関する調査結果』によって二〇〇八〜二〇一八年の動きを見ると、オペレーター賃金は上昇どころかむしろ下落傾向にある。これに対して賃金が増えているのは「農作業一般・専門作業」の女子、「農作業一般・一般軽作業」の男女、「水稻・機械作業補助」の女子、「果樹・専門作業」

の男女（特に女子）、「果樹・摘果」の男女（特に女子）「果樹・収穫」の男女（特に女子）である。つまり、機械作業に付随する手作業や、果樹の剪定収穫といった、手作業に依存する部分で賃金が上昇しているが、機械作業そのものについては賃金は上昇していないといえる。であるとするば、機械オペレーターの仕事自体をさらに自動化するという投資は経営的に見て有利性が無い。これに対して、田植機の運転に付随する苗運搬や、果樹剪定、果樹収穫といった手作業をスマート農業によって効率化することは、経営的に有利である可能性がある。しかしこれらの作業は最も自動化が難しい分野といわなければならない。

もっともこの点は梅本論文でも配慮されており、機械作業の自動化によって補助労働者を削減する、という方向が目指されている。田植を例にとれば、「田植機の自動走行が可能なので、その間、補助者は、自動運転田植機を監視しつつ、自らは苗補給の準備など補助作業に専念できることから、圃場作業者の削減など省力化・省人化が可能となる」。だとすれば、従来型田植機と自動運転田植機のコスト差が田植期間の補助労働雇用賃金を下回ればこうした機械の導入が進むことになる。

この点をもう少し細かく検討すると以下のようになる。水稻機械作業補助の男子臨時雇賃金は農山漁村地域

で七、七四二円（二〇一八年の一日当たり現金支払総額）だから、これを二〇日雇用するとすれば、一五四、八四〇円の賃金コストがかかる（注5）。自動田植機の償却費と従来型田植機の償却費の差がこの額を下回れば自動田植機導入の経営的合理性がある。田植機の価格をクボタの希望小売価格で見ると、無人田植機アグリロボNW8 SA-PE-A（八条）六、二五〇、〇〇〇円、有人型最高機種NAVIMELスペシャルクラスNW8S（八条）五、二五二、五〇〇円、有人型標準機NAVIMEL標準クラスNW8（八条）四、三四五、〇〇〇円、有人型シンプル装備のワールドシリーズWP80D-SP（八条）三、五二〇、〇〇〇円である（いずれもクボタホームページによる二〇二〇年五月一日時点）。仮にNW8と無人田植機のどちらかを選択ということになったとき、差額は約二〇〇万円だから、耐用年数七年で計算すれば年間約三〇万円の差が出る。したがって有人型NW8を購入して補助労働力を二〇日間雇用した方が得策、ということになる。賃金は「上がった」と言われるが、農山漁村地域における水稻機械作業補助の臨時雇賃金は、二〇〇八、二〇一八年の間に男子で七、四二四円から七、七四二円へと三一八円（四・〇％）、女子で六、五三一円から七、一九八円へと六六七円（一〇・二％）上がったに過ぎない。女子の上昇率が高いが、実額は男子より低いから、

女子の賃金を前提とすれば、無人機械を導入するよりも補助労働力を雇用することのメリットはさらに大きくなる。つまり、「労働力不足」という割には賃金は上がっていない、あるいはそうした賃金に依存することが可能だから新技術の導入が進まないという面があるだろう。

このように、技術的に可能であっても人に依存した方がコストが安いので人に依存し続ける、という例は農業に限った話ではない。例えばピッキング作業は多くの企業では労働者が倉庫内を歩いて商品を集めて箱に詰めるという方法がとられている。自動倉庫とAGV（無人搬送車）を組み合わせれば、これらをすべて自動化することは技術的には可能である。実際にも、アマゾンジャパンやニトリの一部倉庫では、商品が保管されている棚自体がAGVに乗って労働者の方に動いてくる。AGVは不定形な場所でも動き回ることができ、他のAGVと衝突しないよう、最も効率的な動線を判断して労働者のいるところへ移動してくる。労働者は全く歩くことなく、必要なすべての商品をピッキングすることができる。ピッキング済みの商品棚を載せたAGVは、自動で倉庫内の空きスペースに戻っていく。さらに、棚から箱へのピッキング作業自体もアーム型ピッキングロボットで自動化することができる。

アマゾンのような大規模流通業者において、巨大な倉

庫で多種多様な商品を扱う場合は、労働者が広い倉庫内を歩き回るとロスが多くなる。したがって、労働者の代わりにAGVを使うことによる利益は大きくなる。逆に小規模であったり、商品の種類が少ない倉庫であれば、自動ピッキングシステム導入コストよりも労働者を雇用して倉庫内を歩き回らせた方がコストが安いから、自動ピッキングシステムは導入されない。

また、コストの問題に加えてリスクの問題もある。大規模設備投資をすれば何年も減価償却が続くが、人であれば不要時に解雇することができる。したがって、大規模な事業者でもその社のすべての倉庫を自動化することはない。自動ピッキングシステムは電力会社における「ベースロード電源」のようなもので、「ピーク電源」である石油火力発電のような「調整弁」として人海戦術による倉庫を残すことになる。

梅本論文が「現状では自動化農機はどのような省力効果に比較して割高であり」と述べているのも、「機械より人がやった方が安上がり」ということである。スマート農業について「経営としての収益性や財務安全性等は農産物価格など市場条件に影響される部分が大きく、今後、上記の条件設定のもとでの経営シミュレーションを通して検証を行っていく必要がある」とされているが、そこにはもう一つ「賃金の上昇度合い」が重要なファク

ターとなってくるはずである。

このように、施設・設備の導入には個々の経営の採算判断が関わってくる。そして、個々の経営が無人田植機導入という判断をするには、①無人田植機の価格がもっと下がる、②臨時雇賃金が増える、のいずれかが必要である。他方、土地利用型農業において「誰が、どのような方法で農地を維持し、食料供給を図っていくのか」は、個々の経営の課題ではなく、国の政策上の課題である。①や②が実現しないもとで国の政策上の課題として食料供給のために無人田植機を普及するのであれば、③無人田植機導入に補助金をつける、ということも必要であろう。

また、安価な労働力の導入と無人機械の導入は正反對の性格を持っているということに留意すべきであろう。農業政策においては、外国人労働者の導入と無人機械の導入が同時に議論されている。両者の関係をもう一度整理する必要があるだろうか。

3. 無人機械の事故責任

スマート農業は公道上を農業機械や農業資材を積んだトラックあるいはAGVが自動走行することによって完成形に至ると考えられる。しかしながら自動機械が誤作動し事故を起こすことを完全に排除することは困難であ

る。むしろ自動化に伴って「ひとたび制御装置にトラブルが発生し手動運転に移行した場合、制御装置の複雑・高度化と少人数運転に起因した誤作動の可能性」^(注6)がある。かつての手動時代は「冬場になると、運転をしている人たちがメンテをするところに移」るので、運転工がメンテナンス経験を積むことで、「運転中にトラブルがあっても、すぐ対応でき」たのに対し、「今は運転をする人とメンテをする人は別々」なので、「OPERATION & MAINTENANCE」をやるうとしていますが、なかなかできない^(注7)のである。

このように、IoT技術の場合、事故の確率は低いとしても、いったん事故になるとオペレーターが制御できなくなる可能性がある。そこで、自動車の自動運転システムで問題となっているのと同様に、公道上を走行する場合に事故責任をだれがとるのか、といったことが大きな課題となる。自動車の場合、システムに明確な欠陥がある場合以外は自動車の所有者に責任があるという方向に議論は向かいつつあるようだが、こうした方向が広く国民的合意を形成しているとはいえない。また、自動車所有者が事故原因としてシステムの欠陥を立証することは非常に困難であり、自動車所有者が責任を負わざるを得ないことも考えられる。

また、仮にシステムに明確な欠陥があった場合でも、

システムが多数のソフトウェアから構成され、その多数のソフトウェアは多数の業者が作成した場合もあり得、そのそれぞれが、時々バージョンアップされることから、どのソフトウェアにどの時点で欠陥が生じたのかも自動運転システムの利用者が特定するのは困難である。加えて、販売時から機械に組み込み済みで機械と一体化しているソフトウェアに限って製造物責任の対象とするという学説が一般的であるが、それ以外のものについては製造物責任の範囲外という説が強い。したがってスマート技術に用いられるソフトがたびたび自動更新された場合の製造物責任上の扱いは難しく、自動運転システム製造者の無過失責任を問うことは困難である。製造者の責任を問うには、製造者に明らかな過失があることを立証することが必要となるため、責任追及は非常に困難となるだろう。

スマート農業において公道上をAGVが走行するような完成形に至る前に、まずは自動車の自動運転システムが、以上のような責任問題をクリアして普及していく必要がある。そこに至るまでに、スマート農業でも同様の責任問題の議論を進めて、責任問題について国民的合意を形成しておく必要があるだろう。

技術とは本来、人を楽にするためにあるものだ。だから、「安い労働力を使う」方向よりも、「スマート技術を使

う」方向が望ましい。自動化した分、人は少ない労働で多くの生産物を得ることができる。IoTが、「働く場を奪う」のではなく「少し働いただけで食べていける」方向に結び付くことを展望したい。IoT技術はその基礎を築くものであろう。

注1 山本潔『日本における職場の技術・労働史 一八五四～一九九〇』一九九四年 東京大学出版会

注2 川崎市川崎区 産業ミュージアム講座 平成三二年度第一回 講義録「企業の歴史と産業遺産（八）川崎区における東京電力の火力発電所の歩み」高度経済成長期から低炭素社会の実現に向けて」二〇一〇年一〇月二九日

注3 山下良造「火力発電所における最近の制御技術」『計測と制御』三〇巻七号、一九九一年七月

注4 東京都『天然ガス発電所設置技術検討調査報告書』二〇一二年三月

注5 実際には、法定福利費や募集費用などが必要なので労務費はもう少し大きいだろう。

注6 山下良造 前掲論文

注7 前掲 川崎市川崎区 産業ミュージアム講座

スマート農業技術とその利用主体

神山安雄

「下町ロケット」の話

二〇一九年正月に放映された新春ドラマ特別編「下町ロケット」(TBS系)をビデオで見直した。リアルタイムでみたときもった違和感は、ビデオをみても同じだった。

「下町ロケット」は、池井戸潤原作の同名シリーズをテレビドラマ化したものだ。二度のシリーズで連続ドラマ化されたが、特別編はその完結編だ。宇宙ロケットの燃料バルブシステムを開発した下町の中小企業が、今度は農業ロボット―無人(自動走行)のトラクターとコンバインを開発する。自動走行トラクターに搭載する高性能エンジンとトランスミッション(動力伝達の変速機)を開発、商品化した後、自動走行コンバインの開発

に成功する。

大企業と下請け中小企業の対立、大企業内の派閥争い、中小企業同士の競争・対立などをからめて、物語としてはおもしろい。

違和感は、物語のクライマックスシーンだ。台風が直撃する直前の強風雨のなかで、それも日没後、複数台の自動走行コンバインを駆使して、五〇haの稲刈りをするシーンだ。強風雨のなかでの稲刈りは、稲稈・茎葉はからまるし、ずぶぬれになった稲穂は品質が劣化する。

ドラマの演出上のこととはいえ、違和感を覚える。無人(自動走行)コンバインなら、ICT・AI技術を駆使すれば、夜の強風雨のなかでも大面積の稲刈りができると幻想を抱かせる。違和感をぬぐい切れないのはそのためだ。

農業生産は、自然の一部である土地を主要な生産手段にして、生物（植物・動物など）の成長力・生命力を利用しながら行う有機的な生産だ。工業生産は自然過程と完全に切り離して行うことができるが、農業生産は自然過程と完全には切り離して行うことができない。だから、農業生産は、自然条件の影響を受ける。自然のなかで行う農業生産は、台風などの自然災害にもあう。

ドラマのなかで、トランスミッション（変速機）の開発に苦勞するように、農業技術はフアジーなものに対応しなければならない。

スマート農業技術を利用するための課題

先に掲載されている梅本雅報告は、スマート農業技術の現段階と今後の方向を詳細に論述している。

梅本報告は、スマート農業技術を「ICT（情報通信技術）、AI（人工知能）、RT（自動化技術）を活用した農業」「データを活用した農業」と定義している。スマート農業技術の現段階については、「確たる技術体系が形成されているわけではなく、・・・その素材となる様々な部分技術が萌芽的に開発、実証されつつある段階」だとしている。

「下町ロケット」にみられる無人（自動走行）のトラクター、コンバインは、自動化技術の典型であり、スマ

ート農業技術の象徴として取り扱われている。梅本報告の詳述する自動走行田植機とならんで、稲作農業を自動化するための「部分技術の開発、実証」と実用化の典型例といえる。その開発と実証は、物語（下町ロケット）では国の農研センター等の試験研究成果を抜きにして語られている。梅本報告は、スマート農業技術の官民学の試験研究成果の現段階における到達点をつまびらかにし、今後の課題を整理したものだ。

官民学の試験研究成果ということを念頭におきながらも、ここでは、流行作家とテレビドラマが着目した自動走行トラクター・コンバインを素材にして、（物語性によって歪曲された部分は極力除きながら）、その利用主体である農業生産者・農業従事者・農業経営者の視点に立って、スマート農業技術の利用上の課題について、その一端を検討したい。

バックアップ体制の必要性

自動走行のトラクター、コンバインを利用する主体は、農業機械を操作して耕耘作業や収穫作業を行う農業生産者・農業従事者だ。無人の自動走行によって作業する場合、圃場ごとの地図データが入力され、作業工程の詳細なプログラミングが必要とされる。

農機の自動操作・作業がパソコン等で行われるとして

も、地図データ入力や作業工程のプログラミングではICTの技術を有することが必要だ。

作業主体がICTの技術をもたない場合は、農機の販売元が地図データにもとづく作業工程のプログラミング等を手伝う等のバックアップをする必要がある。

ドラマでは、無人の自動走行トラクターが不具合を起して止まってしまい、操作作業をしていた農家が右往左往するシーンがある。販売元を呼んで修理してもらおうとするが、販売元の職員も修理できず、右往左往する。

販売元の職員の右往左往は、物語性によって歪曲されたものだろう。少なくとも販売元には、圃場での不具合・故障が生じた場合、駆けつけて修理・改善する技術能力をもつことが要求される。そうしたバックアップ体制が必要だ。

とくに複数台の自動走行トラクター・コンバインで作業を行う場合、マルチロボットトラクター監視システム等が必要になる。有人一台の自動走行トラクターと無人一台の自動走行トラクターが併走して作業する場合、有人のトラクターから無人のトラクターに情報を伝達するシステムが必要だ。

ドラマのクライマックスは、複数台の自動走行コンバインが収穫作業を同時に行うシーンだった。これを操作する大企業のキャラバンチームは、マルチロボット監視

システムを搭載した監視車を備えていることになっていった。また、収穫作業中の自動走行コンバイン二台が正面衝突を起こそうになったとき、それぞれの作業工程プログラムを書き換えて衝突を避けるシーンもあった。

将来的には、こうした農作業受託企業や高度な技術者が必要となるのだろうか。

「データを活用した農業」

自動走行トラクター・田植機・コンバインで作業する場合、圃場ごとの詳細な地図データが必要とされる。また、雨中での作業を避けるためには、メッシュの気象データが必要だ。こうした詳細なデータにもとづき、実際の作業では、たとえばぬかるんだ水田などでは圃場の凹凸に対応する等の即応的な技術（直進運転アシスト等）が必要になる。

スマート農業技術では、「営農管理に関するソフトウェア」「自動運転に関する農業機械、センサーなど」機械・機器類、「それを可能とする通信技術」が中核だ。

自動走行のトラクター・コンバインでは、正確で詳細な地図データが必要だが、そのデータは人工衛星によるビッグデータを基地局が受けて修整し、自動走行の農業機械システムに情報伝達する仕組みだ。

全国の農地の地図データは、全国農業会議所が市町村

農業委員会を単位にして、圃場一区画ごとに作成中だ。これをへ人工衛星―基地局―自動走行農機システムへの情報伝達システムに活かすことができるか。

梅本報告では、大区画汎用圃場・面的集積による連担化・広域水利調整システムなど土地基盤整備のうえで、基地局など通信基盤の整備、データ通信等に関する共通化といった社会基盤整備を、スマート農業技術導入の水田作経営の前提にしている。

たとえばアメリカでは、農務省の農村開発計画（ルーラル・アメリカ）のひとつの農村開発ブロードバンド再接続プログラムで、高速ブロードバンド導入の資金調達に融資または助成を行っている。農場・牧場だけでなく住宅、医療、コミュニティ施設、学校、工場などの農村施設に高速インターネット接続を提供するための資金調達を、協同組合・非営利団体、営利企業、州・地方自治体などが、一〇〇％ローンや一〇〇％助成、五〇％ローン／五〇％助成の方式で最大二億ドル申請できるプログラムで、州ごとに認可している^注。

国土面積の異なる日本では、方式が異なるとしても、こうした社会基盤整備は必要だ。

スマート農業技術利用の可能性

農水省は、「二〇二五年までに農業の担い手のほぼす

べてがデータを活用した農業を実践すること」をめざすとの政策目標をにかけている。

梅本報告には、「比較的早い時期に、増加する農地供給に対して借り手が応えられない事態が生じていく」との危機感が前提にある。その対処策のひとつとして「スマート農業技術（ロボット農機、営農管理システム、地域・地区単位の自動水管理システムなど）を導入した水田三〇〇～四〇〇ha経営をイメージしている。

スマート農業技術体系は、未確立だ。同時に、ロボット農機にしても高価格であり、コストがかかる。家族経営や集落営農が利用できる「データ活用農業の実践」を優先すべきだろう。センサーデータとビッグデータをむしろ、その通信情報伝達システム、地域水利調整システムなど基盤整備を手掛けるべきだろう。

懸念は、技術とデータを農機メーカー等企業が独占することだ。ロボット農機利用主体の家族経営や集落営農にはその修理技術等が不十分だから、企業側の支配が強まらないか心配される。

（注）米国農務省（USDA）ホームページ、Rural Development Broadband ReConnect Program.
なお、「」書きは、梅本報告。

スマート農業技術について考える―梅本論文へのコメントを含む―

東洋大学名誉教授・国際農政研究所代表 服部信司

1. 二〇一九年度までに市販化されたスマート農業技術

農林水産省の二〇二〇年二月の「基本計画」の付帯資料によれば、二〇一九年までに市販化されたスマート農業関係の技術は、次の通りである。

1. 自動走行トラクター（ロボット・トラクター）…有人・無人の二台協調による直進アシスト
2. 高速高精度の汎用乾田播種機…後付けの自動走行操航システムによる。
3. ドローンによるセンシング農業散布
4. 自動水管理システム
5. リモコン式自動草刈り機
6. 自動収量コンバイン

2. スマート農業技術は、既存の農業技術を性能アップしたもの

これらのスマート農業技術は、「ドローンによる農業散布」を別にすれば、

1. トラクターの無人化への改良、
2. 播種機の汎用化
3. 水管理システムの自動化
4. 草刈り機の自動化とリモコン操作化
5. 収量コンバインの自動化

というように、既存の農業技術（トラクター、播種機、水管理システム、草刈り機、コンバイン）に、その性能を高める技術（無人化、汎用化、自動化）をプラスアルファしたものと特徴づけることができる。

スマート農業技術とは、これまでの農業技術とは次元の異なる新たな農業技術のことではなく、既存の農業技術を前提に、その性能をアップする技術のことなのである。

3. 今後、実用化されるスマート農業技術

基本計画の付帯資料Ⅱ「二〇二五年までの技術の実用化の見通し」(二〇二〇、二月)によれば、今後二〇二五年までに実用化Ⅱ市販化され得るスマート農業技術は、以下のごとくである。

(1) 水田作では、

1) 二〇二二年までに、①自動運転田植機と、②自動草刈りロボット(条間除草、畦畔除草)

2) 二〇二五年までに、①ロボット・トラクター(圃場内移動を含む遠隔監視が可能)が挙げられている。

(2) 畑作では、

1) 二〇二二年までに、①甜菜ロボット畦畔移植機、

②自動草刈りロボット

2) 二〇二五年までに、①甘藷の高精度移植機

などが、挙げられている。
これらも、

1. 田植え機の自動化

2. 自動草刈り機のロボット化

3. トラクターのロボット化

というように、既存の技術(田植え機、草刈り機、トラクター)を前提に、その性能を高める技術(自動化、ロボット化)をプラスアルファしたものと特徴づけることができる。

スマート農業技術は、既存の農業技術を性能アップする技術として位置しているといえよう。

4. 二〇二〇年度予算…スマート農業関係に 一八五四億円

農林水産省は、二〇二〇年度予算において、

1. スマート農業の推進のために、スマート農業に適した農地の整備に乗り出すとし、そのために農地を大区画化する。

2. GPS(衛星利用測位システム)を活用し、自動走行トラクターの操作精度を高める。

そのために、人工衛星で位置情報を把握する設備への整備費用を補助する、として、スマート農業関係に、一八五四億円の予算を計上している。

ここに、農林水産省のスマート農業推進への意欲を見ることができよう。

5. スマート農業実証プロジェクト六九グループについての調査

日本農業新聞は、農水省の「スマート農業加速化実証プロジェクト」（今年度予算五〇億円）に参加する全国六九グループに、成果や課題、普及に必要な取り組みなどを聞く調査を行った（二〇一九年二月一日）。

これについて、五二グループが対応した。日本農業新聞によれば、その結果のポイントは、次のごとくであった。

- (1) 機械や資材などの価格の引き下げ…大規模水田作、果樹作の四〇％が必要とする。
- (2) 地域と一体となった取り組み…施設園芸作の四〇％が必要とする。
- (3) 先端技術の革新…施設園芸作の四〇％が必要とする。
- (4) 資金助成や個別の融資…中山間水田作の三〇％が必要とする。

ヤンマー（株）の自動走行トラクター…ロボット・トラクター（八八—一三馬力）は、一二—四万円—一五四万円する。これを二台協調して用いるには、二四〇—三〇〇万円が必要となる。決して、小さい投資ではない。スマート農業の推進には、このような農業機械

の価格低減が強く求められる。

6. 「スマート農業技術の経済性」

梅本氏は、「スマート農業の経済性」について、次のように述べている。

「安全確保のため、ロボット農機（トラクターなど）を稼働させる時は、人が監視し、緊急時には停止等の措置が取れることが前提になっている。そのため、ロボット・トラクターを使用する場合には、協調作業として二種類の作業を同時に実施していくか、同じ作業（耕起など）を隣接圃場等で実施する必要がある、この点では省力効果が発揮される場面が限られることになる」。

「これまで実施されてきたプロジェクト研究における実証実験では、ロボット・トラクターについては、耕起作業を三〇％削減、代掻き作業を二〇％削減。自動運転田植機は田植作業を四〇％削減、自脱型ロボットコンバインは収穫作業を三〇％削減という結果となっており、台数増加に伴い二倍の能率が実現できているわけではない」。

「機械・機器に関わるコスト削減や低廉化、あるいは、シェアリングや外部委託など、技術の導入コストを低下させていく取り組みが急務といえる」と。

ここで強調されているのは、スマート農業機械・機器

の導入コストの低減である。それは、先に見た全国六九グループについての調査結果と同じである。

7. 梅本氏の主張

「実態として今はまだ各種の多様なスマート農業技術が部分技術として構築されつつある段階であり、それらが、どのように体系化され、社会に影響を与えていくかは確定できない中」（梅本氏）にある。

そうした状況の中で、梅本氏が主張したかったのは、

「①個々のスマート技術について、不具合の解消、低コスト化、部品の供給やサポート体制の整備など・
・とともに、スマート農業の体系化を図っていく必要がある。」

②新たな品種開発とその早期普及条件の整備、それらによる収量の向上

③栽培技術、あるいは、従来の水稲作を中心とする水田利用の転換

④農地の大区画化

⑤衛星データ、無線データなど仕組みの改善」などが必要、という点であった、とされる。

農業技術・スマート農業技術に詳しい梅本氏が指摘するのであるから、「スマート農業技術がどのように社会

に影響を与えていくかは、確定できない」ということであらう。

ただ、「スマート農業の体系化を図る」とは、何が想定されているのだろうか。

筆者には、イメージをしにくい。梅本氏の言う「個々のスマート技術の開発、低コスト化、部品の供給やサポート体制の整備」などを推し進めていく、ということに尽きるのではないか、と思われるが、どうであろうか。

そうした個々のスマート農業技術の開発・整備の積み上げのうえに、農業技術全体のレベルアップがあるものと考えられるのである。

なお、梅本氏は、こうした労働生産性の向上（＝労力の削減）に寄与するスマート農業技術とともに、土地生産性（品種改良等による単収）の向上の重要性にも一貫して着目されている。そこに、氏の幅広い視野が示されている。

木を見て森を見ていないスマート農業技術 —実現すべき具体的な営農体系と農業経営の確立は今後の課題—

東京大学大学院農学生命科学研究科教授 安藤光義

はじめに

梅本論文のポイントは、①スマート農業技術は、労働節約的（省力的で、作業精度・効率が高い）であると同時に、土地節約的（収量性が高い）な技術として展開していくことが求められていること、②個々の部分的な技術開発にとどまることなく、それらを体系化した新しい営農体系の構築という視点から取り組まれる必要があること、③スマート農業技術それ自体には技術体系や土地利用方式など農法そのものの転換を進める機能は有していないことの三点にある。鳴り物入りで脚光を浴びているスマート農業だが、実現すべき具体的な営農体系と農業経営の確立はこれからの課題というのが実情のよう^{〔注〕}だ。もう少し踏み込んでいえば、スマート農業技

術自体が農業の成長産業化に直接的に貢献するのは困難であることを意味しているように梅本論文を拝読した次第である。

以下では特に重要と思われる箇所を引用しながら、コメントを行いたいと思う。

農業経営の質的転換には容易には繋がらない

「経営構造がどうあるべきかという視点からの評価も欠かせない。仮に、新たな機械・機器の導入を通して省力化が進んだとしても、それに伴い経費が増加することで農業経営それ自体の収益性が低下し、依然として交付金に依存するという状況が継続するのであれば、農業経営としての発展は期待できない。この点では、現状の農

業が抱える課題を解決していくとすれば、収益構造を含む農業経営の質的転換も必要である。」

スマート農業技術の導入に伴う費用対効果はどうなっているのか。スマート農業に踊らされて投資はしても資金の回収はおぼつかないという事態が多発しかねない。かつて農業構造改善事業で海外の大型機械を導入してもうまくいかなかったのと同様のことが繰り返されてしまわないかどうか。外生的な技術の寄せ集めでは経営にはなり得ない。農業経営の質的転換のための駆動力は経営側の主体性にかかっているが、スマート農業についてはそれが見えてこないということである。

スマート農業技術は部分的な技術に過ぎない

スマート農業技術は部分的な技術に過ぎないことは次の引用が的確に指摘している。

「自動運転田植機を用いるとしても、それが移植作業であることは変わらない。そのため、苗の生産は依然として必要であり、また、移植作業時にも、畦畔横に準備された苗を田植機に積む作業は人力で実施しなければならぬ。工夫をすれば苗を田植機に自動で積み込むことも出来るかもしれないが、それを実施するとすれば多額のコストを要することが予想される。この点では、苗を

必要としない直播栽培が有効であると言えるが、栽培方法の選択は自動運転とは別の問題である。すなわち、稲作の技術体系を今後どうしていくのか、水田利用のあり方はどうあるべきかは、別途、検討して行く必要がある。」

規模拡大を実現するための技術革新として注目を集めている技術も、技術体系自体の検討が行われていないのではないかという批判として筆者は理解した。見ているのは部分的な作業技術だけであり、経営全体は見えていないということだろう。木を見て森を見ていないのである。まだまだ技術開発の段階にすぎず、それを農業経営に実装するまでは相当な時間がかかると考えるのが妥当ではないか。

一段階上の組織化が進むことになるのか

農業構造改善事業では協業経営の育成が同時に進められたし、その後もワンマンファームの連合体である生産組織が登場した歴史がある。今回のスマート農業技術の導入も、以前と同様、農業生産者の組織化を、それも含むの広域で推進する可能性があるだろう。

「現状では自動化農機はそのような省力効果に比較して割高であり、省力化による規模拡大が計画通りに進ま

ない場合には、固定費の負担を増加させることになる。この点では、機械・機器に関わるコスト削減や低廉化、あるいは、シェアリングや外部委託の検討など、技術の導入コストを低下させていく取り組みが急務と言える。

ここである「シェアリング」は組織化を意味しており、「外部委託」はTMRセンターのような分業化と農作業サービス事業の展開が進むことを示唆していると考える。こうしたスマート農業技術の下で組織化される生産者は、その技術がかなりのスケールを必要とするものとなるだけに、一定規模以上の自立した経営であることが求められるだろう。粒の大きい経営がそろっている北海道では広域的な組織化が実現する可能性はあるが^{注2}、零細な農家が層をなして存在している都府県では難しいかもしれない。

また、農業構造改善事業の際に稲作作業によって組織化をどのように進めるかの分析が行われたが、最終的には乾燥調製作業以外は個別経営に収斂していくことになった経緯がある^{注3}。今回のスマート農業技術も同様の経路を辿ることになるのか、それとも組織化が最終形となるのか、かなりの時間をかけて観察する必要があると思う。

専門家による指導やコンサルティングの必要性

「その結果としての経営として収益性や財務安全性等は農産物価格など市場条件に影響される部分が大きく、今後、上記の条件設定のもとでの経営シミュレーションを通して検証を行っていく必要がある。」という指摘も重要である。

こうした経営シミュレーションを個々の経営で行うことは難しく、外部の専門家による経営診断やコンサルティングがますます求められることになるだろう。その役割を農業協同組合が果たすのか、それともこうしたスマート農業技術を開発した業者が果たすのか。あるいはコンサルタント業者がそうした役割を担うことになるのか。それによって産地のありようも変化してくるかもしれない。園芸分野で新たなスマート農業技術の導入が進み、生産部会の活動がそれに遅れをとるようなことがあると、農業協同組合の地位が一層低下する可能性があることは否定できない。

おわりに

梅本論文に依拠しながらスマート農業技術に関して述べてきたが、最終的な結論は「はじめに」のところで記

したように、実現すべき具体的な営農体系と農業経営の確立はこれからの課題ということになるだろう。

「本稿の目的はスマート農業技術による新たな営農体系の展望という点について検討することにあつたが、実態として今はまだ各種の多様なスマート農業技術が部分技術として構築されつつある段階であり、それらがどのように体系化され、社会に影響を与えていくかは確定できない」ということなのである。

ただし、直ちに実用化され、農業経営を革新する見込みはなくても、それに向けた努力を放棄してしまえば将来は確実なしりすぽみとなってしまう。スマート農業技術も同様である。本稿ではかなり批判的なコメントを行ったが、中長期的な視点から引き続き研究開発が続けられることを期待したい。

注..

(1)この点については梅本論文ほど精密な分析をしているわけではないが、以前から筆者も同じような認識を持っていた。「近年スマート農業が注目を集めているが、まだ部分的な技術にとどまっており、例えば一〇〇ヘクタール規模の水田経営が備えられるべき標準的な生産力体系の確立までには至っていない。平地農業地域の将来の構造変動を見据えた技術開発とその普及が求められるところである」(安藤光義「縮小再編からいかに脱するか」

『中央公論』二〇一九年一月号、一八九頁。

(2)ここで議論している水田農業とは異なるが、北海道の「十勝川西長いも」などの事例に基づいて広域的な組織化を進めるに際してコーディネーターの存在が不可欠であることが指摘されている。「効率的な広域的生産体系を確立する上で重要なことは、地域の合意形成を担うコーディネーターの存在である。既存ではJAがこのコーディネーター役に最も適しているといえる」(野口伸「スマート農業「広域連携」に可能性」日本農業新聞二〇二〇年四月二七日)

(3)かつての農業構造改善事業では農業機械の利用主体をどのように組織化していくかについて次のような議論が行われていた。「水稻の協業組織ですべての機械を所有することは基本型」であり、「すべての作業能率の間にバランスがとれるようにする」必要がある。その場合、「一集団内でそれを完結させるべきだ」という見解と能率に応じた組織を組み合わせるべきだという見解に分かれていた。「単位協業組織で能率の小さい田植機・脱穀機を所有利用し、それを数集団集めて能率の高い大型トラクターを所有する形の提案に対し、一方ではこうした二重組織の運営の困難を考慮すれば多少能率が落ちても単位協業組織内でこれを完結させるのが望ましい」という提案のどちらを採用するか、「機械の能率」を優先させるか、「組織の安定化」を優先させるか」という問題であった。農業構造改善事業が農業生産の組織化に対して提起した問題、「農家の分化がすすみ、料金問

題を含む管理手法をふまえた上でどう集団を形成するのか、小集団の連合組織としての大集団という複合組織を考えてゆくのかといった問題」はスマート農業技術の導入についても形を変えて当てはまるのではないかと考える。「」内の引用は、全国農業構造改善協会『農業構造改善コンサルタント意見要覧：昭和三八年度～昭和四七年度』大成出版社（一九七五）（武井昭稿）、一〇一～一〇二頁。この論点については、安藤光義「農業構造改善事業の意義と限界―第一次・第二次農業構造改善事業を対象に―」谷口信和編集担当『戦後日本の食料・農業・農村 高度経済成長期Ⅰ―高度経済成長期と農業基本法―』農林統計協会（二〇一九）を参照されたい。

スマート農業の多様性に期待するとともに 視点が重要

早大名誉教授・日本農業経営大学校校長 堀口健治

1、稲作投入労働で最も節減が遅れている

「かん排水管理」

米生産費調査結果により、農業地域別・年次別・一〇a当たり作業別労働時間について、昭和四五年と平成二八年、北海道と都府県を比較したことがある。直接労働時間だが、北海道で昭和四五年九〇・九時間だったものが平成二八年は一六・三三時間と劇的に減少している。都府県でも同様で、一二・一六時間が二三・一〇時間と、それぞれ昭和四五年の二割弱になっている。

北海道、都府県、いずれも、田植、除草、稲刈り及び脱穀、が機械や薬剤で劇的に減少したことが大きいことは周知のとおりである。だが、かん排水管理だけは、昭和四五年で北海道七・七時間、都府県一一・三時間、平

成二八年ではそれぞれ二・九四時間、六・二六時間と、半分ほどに減っているものの、かん排水管理の時間が稲作の作業別労働時間に占める大きさは双方ともに大きい。都府県では最大の労働時間の項目であり、北海道に比して絶対的に長い時間になっているのは、ほ場が狭く、ために枚数が多いので、作業別労働時間が長いのである。これに対して、北海道では最大の作業別労働時間は「苗代一切」の五・三四時間となっているものの、かん排水管理は二番目の最長の項目になっている。

なお都府県を階層別にこの管理時間を見ると、平均は六・二六時間だが、一・〇〇～二・〇〇ha階層では七・八九時間、しかし一五・〇ha以上層は二・五二時間と北海道の平均を下回っている。ほ場枚数が北海道と比べて少ないとは思われないので、管理の中でもなにか時間を節約

する工夫をしているのかもしれない。その工夫を知りたいところである。

いずれにしろかん排水管理の時間は大きくは減少していない。これに対して、最近実用化が進む水位・水温のセンサーが毎朝の水田見回りを減らし、必要な水田だけを見回ることになり労働節約になることが期待される。それも市販の乾電池を使ったセンサーなので価格も高くはない。分散する水田一枚ずつにセンサーを置くことができる。だがメーカーが研究や販売を続けている給水バルブや落水口の自動化は、これは圧力がかかった給水であれば可能性はあるが、そうでない場合の開閉操作は相当なエネルギーがかかるし、当然にコストは高い。これを一枚ずつ圃場に設置するのは採算が合わない。人による水管理の方が安く済むと思われる。

どれに農業者の時間が取られ、それを節約する場合に経済性はどうか、等の検討が必要である。スマート農業の中で必要性和経済性、両面の検討が必要であろう。

2、経済性チェックと発想の転換も必要

堀口がスマート農業を色々学生に紹介した中で彼らに一番受けたのは、雑誌『現代農業』二〇一七年八月号に載った島根県の曾田園芸の話だった。山の上にあるハウスは本拠地から遠く、往復に長い時間がかかり、毎日温

度・湿度を見に行き必要ならスプリンクラーを回して水分の補給をする作業は大変ということで、業者が提案するセンサーの導入を考えた。が、結局は自分で秋葉原に行き監視カメラとスプリンクラーを自動で動かす装置を購入したのであった。

花の栽培なので、センサーを多数、温室内に張り巡らす必要がないこと、センサーの代わりに安価になっている監視カメラにした。監視カメラの首を回せばハウスの状況がスマホに写り、風の流れもわかる。傑作は監視カメラの前に市販の温湿度計を置いたことである。スマホを通じ自分の眼でチェックできる。

多くのセンサーを置き、コンピューターに繋げて設定の数値になった時には自動的にスプリンクラーが動き出す業者の提案を受け入れなかったのである。水分がスマホを通じて必要なことが分かると、自ら指令を出しスプリンクラーを回す。そして本当に水がハウス内にかっているかのチェックは、監視カメラの前にまかれた鹿沼土で確認するという。鹿沼土は水がかかると色が変わるからわかる。

スマート農業の大きな貢献のひとつは、離れた場所の観察やAIなどを使ってその状況を判断したり、ドローンが典型だろうが運搬や散布など、今までの飛行物体と異なり、スピードを緩やかにしたり停止させることが可

能等、色々ある。他の製造業の工場と異なり、農業は、は場が分散していて、それぞれの農地や作物の監視・観察等が大事な作業であり、結果が分かれば、またコストをかけて現場に行き、機械で作業するなど、農業独特のコストが大きい。この点、リモートセンシングは大きく貢献してくれる。行かなくても状況が分かり、必要であれば農業を局地的に散布したり、コスト安く対応が可能である。多様な農作業の展開が可能であり、今後が楽しみな点ははっきりしている。

こうしたスマート農業の革新のメリットは多様であることだが、これを勉強するのに便利な手引きができた。山口県が最近出したものである。「山口県ホームページ、スマート農業推進の手引き」で検索すると中身が読める。この手引きのよいところは価格が書いてあることである。しかも視点が農業者、すなわちユーザーの立場で、評価や課題を述べていることである。こうした解説書が欲しかった。できれば導入した際のコスト節減とか、メリットを数字的に述べてほしかったが。

3、農法を変える直播稲作とドローン

その上で、梅本論文が強調する点は、現在の農作業体系の線上での改善や便利な機械、自動化、データ収集などに絞られるのではなく、農法を変える方向での農作業

の基本的な改革も対象にすべきということだと私は考える。その大きな一つに、直播農法の導入にスマート農業が意図的に貢献すべきではないか、と理解している。

直播はその安定性、また十分に高い単収が確実ではないためか、稲作の大規模経営でも田植え期間の集中を分散化するため、直播をプラスアルファとして入れている経営が多いようにみられる。

この点の改革で、田植え型稲作の育苗成から田植え等の機械コストや手間が多い既存農法に対して、直播は根本的に相当なメリットがあるとみるべきである。

筆者が勉強させてもらっている秋田県の株式会社Yは、大胆に大規模稲作を湛水直播に適用させようとしている。二〇一九年はドローンによる全面直播を予定していたが、鉄粉を付けた粉を対象水田面積分一六キロ運ぶドローンが間に合わず、九割直播機で行わざるを得なかった。一割は従来使用していた少し小さいドローンで行った。平均して従来の収量と比べ六〇キロ分落ちた。結果として収入が一三〇〇万円少なくなったのである。

二〇二〇年の今年もまだ一六キロ積載が可能なドローンが四月下旬でも着いていない。予定としては五月中旬に、ドローンによる直播を五〜一〇ha予定し、これを含む八三haが直播としている。暖冬で水管理が難しい水田では、従来と同じく、大豆を七〇ha作付予定である。稲

は、あきたこまちが多いが、予想収量を六・五俵と今回は低めに見ている。この経験の上に来年の一〇〇%ドローン直播を期待するという。

この場合、単収がどうか、極めて重要である。労働生産性がどの程度よくなるか、それとの競争でもあるが・・・経営としてどう見るか、米の販売単価も含め、課題が多い。

学生時代に農業は、他産業のように労働生産性だけで技術革新を見てはいけないと教えられた。スケールメリットで労働生産性が上がるのならどんな工場を増やせばいいという製造業と異なり、農地面積の拡大は制限されるので、土地生産性の意味が大きいと教わった。その通りと思った。しかも生き物が相手なので、傷つけないように機械が植物の間を動き回らなければならないので、安くて便利な機械はなかなか出来ない。

他方、土地生産性に貢献する種苗の改良、多収穫で品質の良い稲の改良とか、あるいは動物の優良品種の抜擢とか、その重要性に気が付かされた。最近の稲の品種改良が、多収穫よりも食味を重視し、それで価格を高く維持できるならば、収量が高くなってもよいという選択も強い。そのために、直播は採用対象にならないという見方は強い。

しかし直播に向いた品種、相当「過保護」下の移植用

苗、とは異なる改良があつてよい。その上で、ドローンによる直播で労働生産性を上げる改善方式を考えておいてよいのである。

スマート農業は、技術の革新の幅を劇的に広げた。この劇的に広がった色々な技術を取り入れ、農法改革へのチャレンジが必要なことを強調したい。

スマート農業への期待と不安

矢坂雅充

情報処理技術の革新はめざましく、それらを農業に活用するスマート農業が切り拓く新しい農業生産・流通の世界は、筆者には想像することも難しい。スマート農業

を第三次農業革命の原動力に位置づける論者も多い。物理学や化学、生物学に展開によって支えられた農業技術に加えて、情報技術の革新的な技術によって農業は大きく変わるという。スマート農業がどのような革命的な影響を与えることになるかどうかを考えると、スマート農業への期待と不安が入り交じる。

以下、水田農業から逸脱してしまうところが多々あるが、梅本論文に触発されて思い浮かんだことを若干列記したい。

1、期待

スマート農業は主に自動走行農業機械に代表される農業ロボットやビッグデータ、AIなどを駆使したオンライン上の生産プラットフォームの領域の革新技術とされる(注1)。梅本論文が指摘するように、「今はまだ各種の多様なスマート農業技術が部分技術として構築されつつある段階」であるが、それらの部分技術がさまざまな課題を解決しうることがわかる。

たとえば、直進アシスト機能付きトラクターは畑作農家のお家芸ともいえるトラクターの直進走行技術をどの農家にも提供してくれる。一直線に作物を植え付けて、そして除草時にはトラクターにカルチベーターを装着して直進すれば、植え付けた作物を傷つけたり取り除いた

りすることなく、雑草のみを効率的に除くことができよう。酪農家が自給飼料を確保するためにデントコーン栽培に取り組むときの大きな課題の一つは、適期での除草作業である。除草作業が適切に行えなければ、収量も大幅に低下するからである。その除草作業では、畑での作業に不慣れなために一直線に植え付けられず、カルチベーターによる除草作業に手間取ることが少なくない。畑作物の植え付け・除草作業の技術を見込んでデントコーン栽培を畑作農家に委託するケースもあるほどである。直進・自動走行のトラクターは、牛の飼養管理に専念してきた酪農家などが自給飼料生産に取り組む際のハードルを押し下げることになる。

センサーやAIなどを活用した生産プラットフォーム技術の革新も、異常気象が頻発する近年の状況をふまえると、収量の安定化に大きく寄与するに違いない。農研機構が開発した栽培管理支援システムが多くのITベンダーなどに活用されることが期待される。そして、作物の生育環境の変化に応じた発育ステージの進行予測、気象災害や病害の発生に対する警戒情報の伝達、対応方法の提示といったさまざまなサービスが提供され、農業生産過程の要所で活用されるようになれば、農家は安定的な収量を見込めるようになるといえよう。猛暑や台風、干ばつなどによる被害をなくすることはできないとして

も、予め必要な手立てを講じることで、異常気象などへの不安をコントロールすることができよう。

ただし、農作業の標準化がかなり進んでいる稲作においても、自動機械やAIなどの活用が種苗づくりから収穫・調製作業まで、農業生産過程のすべてをカバーするのは相当困難であろう。スマート農業技術で各作業がこなされた生産体系を展望するよりも、導入可能なスマート農業技術ではカバーできない農作業を意識することの意義を改めて強調しておきたい。「(自動運転田植機には)機能として実施できるようになったことと、まだ技術の適用範囲に含まれていないことが残されているということであり、この両者の特質を意識した取り組みが必要である」という梅本氏の指摘は示唆に富んでいる。今後、農業機械メーカーやICTベンダーをはじめとして、さまざまな事業者がスマート農業の分野に参入してくると思われる。部分的な技術としてはいつそう精緻化、高度化が進むに違いない。しかし、スマート農業がカバーしないあるいはできない分野の農作業の負担が大きければ、それによって実現するスマート農業の姿はかなりいびつなものになるかもしれない。

2、不安

関連して不安材料をいま少し指摘しておきたい。

一つは、モニタリングとビッグデータ解析、AIなどへのフィードバックである。たとえば、作物の発育に関する予測データと実際の発育状況との乖離に無頓着になり、提供される情報のみに頼ってしまうと、そのことが大きな被害の原因となってしまう。林に隣接している圃場では、気温や日照時間が近隣の圃場とは大きく異なるように、地域の平均的な情報でそれぞれの生産現場固有の情報に置き換えるわけにはいかない。予測データの信頼性は生産現場のモニタリングによって支えられるといっている。センサーによるモニタリングが部分的に実現していくとしても、予測データと圃場の固有データとのずれを綿密にモニタリングして、予測データを調整していく作業が欠かせない。生産現場を観察し、情報を鵜呑みにしない農家の注意深さ、現場と情報のズレがあればそれを情報システムの改善に結びつけていく努力が求められる。情報の収集コストと絡むことなので簡単には解決できそうにないが、重要な課題である。

二つは、スマート農業のための「インフラ投資」志向である。監視員による緊急時の停止措置が前提とされる現状では、梅本論文が指摘するように、北海道のように大区画の畑作圃場で、一人が二台のトラクターで同じ作業を並行して実施する、あるいは耕起と播種などを同時作業として実施するといった状況を想定しないと作業効

率の増加は期待できそうにない。そのためスマート農業の普及を促すために圃場の大区画化が必要であると考えられ、基盤整備事業の進展に過度の期待がかけられるかもしれない。スマート農業は農研機構が中山間地域の圃場でもスマート農業実証プロジェクトを実施しているように、既存の生産条件の制約のもとでも自動走行農機やAIを駆使して農作業の省力化と効率化を図るものである。生産条件を変えてスマート農業の普及を図る、大規模な基盤整備事業が必須であるという考え方の逆転が起こりがちである。

たとえば、多頭飼養の酪農経営ではフリーストール牛舎が普及し、乳牛管理が個体から群（グループ）を単位とするようになった。しかし、より飼養管理を容易にするために、経産牛の淘汰を強化して乳牛の能力や性格などを揃える傾向にある。乳牛の淘汰を強めて乳牛を標準化しているのである。適切な牛群を形成し牛群ごとの飼養管理技術の構築を図るのではなく、標準的な飼養管理に対応した乳牛を飼養するようになりがちである。それでは確かに飼養管理は容易になるが、乳牛淘汰により乳牛の平均産次数は低下し、酪農経営は安定しないだろう。

スマート農業の開発がもたら大区画圃場整備をはじめとした「標準化」志向を強めてしまっては、ICTや

AIを駆使したスマート農業技術の特性を活かした農業革命にはつながらないのではないか。

三つは、スマート農業導入による単収増加についてである。スマート農業では資源や環境の制約の下で単収を伸ばす技術や生産プロセスを開発し、それが「匠の技」の「見える化」として期待されている。単収への影響は収量の安定化をつうじた増加というべきだろう。梅本論文が期待するほどの多収にはつながらないのではないか。

むしろスマート農業への期待は、農作業の省力化による資源の遊休化の回避、さらに遊休農地での飼料作物栽培の導入といった農業生産の面的な拡大、農業生産量の増大に向けられてもよさそうである。水田農業の維持に執着してきた中山間地域の農地利用の転換は、スマート農業が目標とする持続的な農業生産の実現にもつながるはずである。

(注1) 佐藤光泰・石井佑基『二〇三〇年のフード&アグリテック』(同文館出版、二〇二〇年)では、農業と食品・流通分野の革新技術をフード・アグリテックと称し、スマート農業とされる①農業ロボット、②生産プラットフォームのほかに、③次世代ファーム(植物工場など)、④流通プラットフォーム(オフラインとオンラインを融合させたオムニチャネルなどのECサイト)、④アグ

リバイオ(ゲノム編集など)の五分野での技術革新に着目している。

畜産分野におけるスマート農業の到達点と課題

静岡県立農林環境専門職大学短大 小林信一

スマート農業の先進分野である畜産

スマート農業の定義として農水省は、「ロボット技術や情報通信技術（ICT）を活用して、省力化・精密化や高品質生産を実現する等を推進している新たな農業」としている。その背景には担い手の高齢化による労働力不足があり、スマート農業によって省力・軽労化を達成し、新規就農者の確保や栽培技術力の継承等が期待できるとしている。現在開発・販売されているスマート農業技術として、農水省がまとめたカタログには一九八例が掲載されているが、そのうち三一が畜産分野のもので、以下のように分類されている。

①センシング・モニタリング・生体データ（繁殖機能や栄養・健康状態等）や飼養環境に関するデータを提

供する技術②生体データ活用…生体に関するデータをAI等で活用する技術③飼養環境データ活用…飼養環境に関するデータをAI等で活用する技術④自動運転・作業軽減…自動運転ロボット等の導入により作業の軽労化を図る技術⑤経営データ管理…経営の現状分析、計画作成、進捗管理等を行う技術

これらの技術には、牛の第一胃に無線温度センサーを飲み込ませ、五分ごとに内部体温をチェックすることや、反芻や採食時の顎の動きを、ビーコンでデータ化すること、健康異常の早期発見を行うなどユニークなものも提案されている。しかし、畜産分野では以前からスマート農業に該当すると思われる技術が採用されてきた。例えば、ロボット搾乳機や哺乳ロボットなどは、すでに「珍しい」技術ではなくなっている。生体情報につ

いても、歩行器を牛の脚に装着することで種付け適期を把握する機器や、個体情報を基にした自動給餌装置なども普及している。餌寄せロボットは、スターウォーズのロボットを彷彿とさせる。畜舎の環境制御は中小家畜では一般的で、ウインドレス鶏舎は温湿度や照度などの調整で生産効率を上げるための人工的な環境作りを行っている。さらに圃場においても、飼料を受託生産するコントラクターは、散在している受託農地の最も効率的な作業手順を、GPS機能の活用で決定している。あるいは、こうしたコンピュータ利用のみではなく、バイオ技術の応用も、例えば受精卵移植は広く普及しているし、近年では雌雄選別による人工授精や受精卵移植も急速に農家に広がっている。

スマート農業の課題

以上のような先進的な技術の導入は、梅本氏が指摘されるように、「営農現場での実証等を通じて不具合の解消、低コスト化、部品の供給やサポート体制の整備など、それが農業経営の中に定着していくための条件を整えていくとともに、その体系化を図っていく必要がある」がある。個々の技術の不具合の解消については、例えばロボット搾乳機の初期にデンマークで見た光景が忘れられない。そこでは、ロボット搾乳機が順調に作動しているか、そ

のためだけに実習生が四六時中監視していた。また、日本においても、配線をネズミに齧られて、たびたび停止するため、ロボット搾乳機の本格導入をあきらめた酪農家もいた。現在では、そうした話は聞かなくなったが、災害による停電などへの対応、また導入機の増加に保守点検体制が追い付かないためのリスクの増加が指摘されている。先進機器の機能を利かすための周辺環境の整備は畜産分野においても、重要なポイントとなっている。特に、こうした先進技術を経営の中で使いこなす人材の育成と、サポート側の人材の育成整備が不可欠であり、担い手の問題が核となる。その意味では、スマート農業は担い手不足のためにあるのではなく、担い手の育成が不可欠な技術と捉える必要がある。

人材育成がポイント

農水省のまとめたスマート農業の分類の五番目に「経営データ管理・経営の現状分析、計画作成、進行管理等を行う技術」があるが、筆者は一九八〇年代に全農が実施していた畜産農家の経営診断システムの開発と普及に携わっていた。当時はまだ一般にコンピュータが広まっている時代ではなかった。農家からの手書きの収支などの入力帳票を月一度、経済連の事務用汎用機で処理して、財務諸表や技術成績表などの出力帳票を農家にバツ

クするという、いわゆるバッチ処理方式であった。現在のシステムとは雲泥の差があるが、当時は農協の畜産部会において、農家が入力帳票の作成を行い、出力帳票の読み込みを集団で行っていた。また、事業主体である経済連が農家の経営診断と連動した事業方式を実施するなど、ある意味で農協らしいシステムと言えた。また、農家が主体的に自らの経営を分析するために、簡易な畜種別記帳簿を作成し、全国の畜産農家に普及し、最盛期には約二万部に達した。さらにコンピュータ経営診断も、各県からの診断成績を持ち寄って、前年度の経営・技術成績を分析したり、分析手法を研究したりする全国大会を毎年開催した。こちらも最盛期には毎年約五千戸の畜産経営診断データが集約された。

こうした経営診断事業が必要とされ、また各地で盛んにおこなわれた背景には、当時の畜産農家の負債固定化問題もあった。過剰投資などで多くの畜産農家が負債を返済できず、農協経営自体にも大きな影響をもたらしていた。北海道では酪農家の1/3が借金を返済できな

い、実質的に倒産した農家と分類され、社会問題化した。現在、コンピュータの性能は飛躍的に進化した、個別農家がパソコンを所有するようになったが、こうした組織的な経営診断事業は、行われなくなっている。国も畜産経営コンサルタント事業を五〇年代から開始し、各都道

府県の畜産会が主体となって実施し、八〇年代からはコンピュータ化もしたが、現在では県によっては事業自体を取りやめたところもあり、低調に推移している。こうした組織的な経営診断事業が低調になった要因の分析は他稿に譲るが、農協にとっては、こうした事業は収益を生むものではないと認識され、また畜産コンサル事業では補助金が削減されたことも大きな要因として指摘できる。つまり、経営診断事業を収支の取れる事業にできず、経営診断分析を行う専門家の育成をしなかった、あるいはできなかったことの結果と言えるのではないか。

今日畜産ではいわゆる「バブル」がはじけた状況に直面している。酪農、肉牛では個体販売価格の空前の高騰もあって、高い所得を享受していたが、昨年から価格が下落しつつあったところに、今回のコロナ禍がとどめを刺した。こうした中で、国は畜産クラスター事業によって、規模拡大のための積極投資を推進してきた。八〇年代の負債固定化時代の再来を危惧する所以である。クラスター事業は、本来融資事業を推進するためのものではなく、地域の畜産に関与する行政やJAが一体となって個別経営を支援する事業であったはずだ。今、スマート農業を積極的に推進しようとするならば、それを支える人づくりを組織的に行うことに傾注すべき時だろう。

国際農研研究成果報告

乳牛ふん尿堆肥化過程における温室効果ガス N_2O の排出

国立研究開発法人国際農林水産業研究センター
生産環境・畜産領域 主任研究員

前田高輝

1. 人為的温室効果ガス排出における畜産の重要性及び国際的な枠組みにおける排出削減努力

世界全体の牛の飼養頭数は約一五億頭程度と見積もられており、畜産業全体から排出される温室効果ガスは、人為的な総温室効果ガス排出量の一八%を占めている。畜産物消費量の増加に伴い、一九六一年から二〇一〇年の間に総排出量は五一%増加、今なお毎年一一・五%程度増加し続けているとされ、この傾向は特に発展途上国において顕著である。二〇一五年のパリ協定における合意内容「地球の平均気温上昇を産業革命以前と比較して二℃未満に抑え、一・五℃未満を目指す」に向けた着実な排出削減実施に向け、一昨年の国連気候変動枠組条

約第二四回締約国会議（COP24）においては、各国がそれぞれの温室効果ガス排出削減目標（NDCs）を設定することを義務付け、その結果を検証することを可能とする一連の新たなガイドライン（実施指針）が採択されたことから、今後国際的な協調に基づいた枠組みにおける温室効果ガス排出削減を巡る一連の動きは加速することが見込まれる。

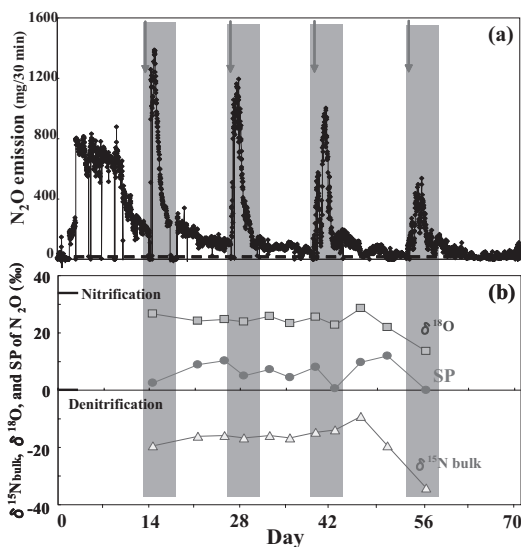
2. 乳牛ふん尿堆肥化過程における N_2O 排出メカニズム

乳牛の飼養過程においては、主要なGHG排出源である反芻胃由来メタンの他に、ふん尿処理過程においてもメタン及び一酸化二窒素（ N_2O ）が排出される。メタンは CO_2 の約二〇倍、 N_2O は約三〇〇倍の温室効果がある

とされ、どちらもその排出削減が急務である。わが国の乳牛ふん尿のうち、固液分離後のふんの約九〇％は堆肥化により処理されていることから、堆肥化過程における N_2O の排出について、排出メカニズムの理解に基づいた確かな排出削減策を確立することが求められている。

チャンバー法を用いて N_2O 排出量を連続測定した結果、特に切り返し（均質化及び有機物分解促進を目的とした重機等による攪拌作業）直後に多く排出される傾向にある。また、切り返し直前の不均質な堆肥において NO_3^- 、 NO_2^- 存在量について測定すると、切り返し直前には堆肥表層において多量の NO_3^- 及び NO_2^- が蓄積されていることが分かる。さらに、アンモニア酸化細菌に特異的なamoA遺伝子 (ammonia monooxygenase 遺伝子サブユニットA) 量を測定すると、酸化のかつ中温環境となる表層では多く検出されるものの、高温かつ比較的嫌気的な環境となる中心部、底部においてはごく僅かな量しか検出されない。また、切り返し直後に排出される N_2O について、分子内安定同位体比 (isotopocule) 解析を行うと、 $\delta^{15}\text{N}$ -SP値は2％程度となる (図1)。これは、純粋培養実験系における細菌による脱窒または硝化菌脱窒における値 (〇％程度) と近く、ヒドロキシルアミン酸化 (33％程度) のそれとは大きく異なる。これらの事実から、切り返し直後に排出される N_2O は、表層に

図 1



乳牛ふん尿堆肥化過程における N_2O 排出量(a)及び N_2O の ^{15}N bulk, ^{18}O , SP値(b)。矢印は切り返しを示す。

において蓄積される NO_3^- 、 NO_2^- が切り返し直後の還元的な環境において脱窒され生成する排出メカニズムが推定される。

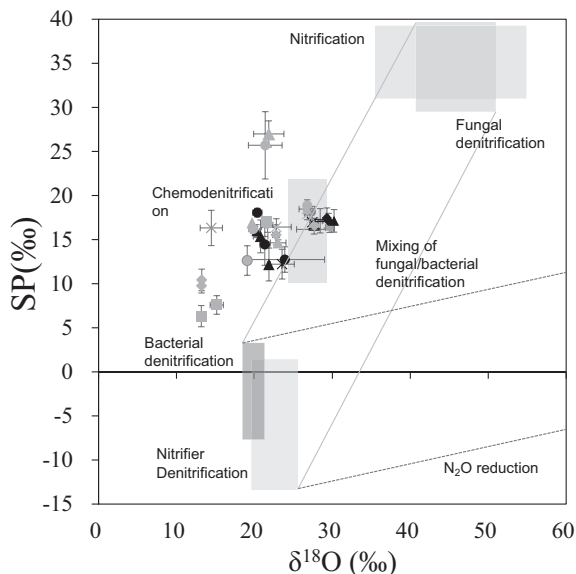
そこで、堆肥表層及び中心部から別々にサンプリングを行い、中温環境及び高温環境における培養実験によ

り、切り返し直後の状況を再現する実験を行ったところ、表層由来のサンプルのみを中温環境で培養した場合、切り返し直後と類似するSP値($5.2 \pm 2.8\%$)の N_2O が排出される一方、中心部由来のサンプルに人為的に N_2O のみを添加し培養すると、SP値が顕著に異なる($20.3 \pm 2.7\%$)。 N_2O が排出された。また、切り返しを模した表層由来及び中心部由来サンプルの混合培養条件では、表層由来の N_2O とSP値が近い($7.0 \pm 4.6\%$)。 N_2O が排出された。さらに、表層由来サンプルにおける NO_2^- 、 NO_3^- の総量は N_2O 排出と高い相関関係があることから、切り返し直後の N_2O 排出は、表層由来の NO_2^- 、 NO_3^- が中温環境下で脱窒され、その際表層に存在する脱窒菌が N_2O 排出の主たる役割を担っていることが示唆されている。このため、表層におけるこれらの窒素酸化物の蓄積を回避することが、 N_2O 排出削減のために極めて重要であると言える。一方で、中心部由来のサンプルに N_2O を添加した際に生成される特徴的なSP値を持つ N_2O については、脱窒の主体やその生成経路等については不明であり、その一つの候補として、カビ脱窒(SP値 $\approx 37\%$)由来 N_2O の混入等が考えられた。

そこで、細菌とカビの相対的寄与について明らかにすることを目的とし、それぞれを特異的に阻害するため、

抗生物質(クロラムフェニコール及びシクロヘキシミド)をそれぞれ添加し、 N_2O の排出及びそのSP値に与える影響について分析する培養試験を行った。その結果、細菌を特異的に阻害するクロラムフェニコール添加によって、SP値が $15 \sim 16\%$ のサンプルでも N_2O 生成が大幅に阻害されることが分かった。一方、シクロヘキシミドを添加したサンプルにおいては、 N_2O 生成阻害の程度は低く、また生成される N_2O について、SP値及び $\delta 18\text{O}$ を用いたマッピングアプローチを行うと、細菌による脱窒とカビによる脱窒の混合で想定される領域にサンプルが明確にプロットされないことが分かった(図2)。さらに、カビに特異的なITS領域をqPCRにより定量したところ、中心部由来サンプルにおける特段の高いカビ由来遺伝子の存在を見出すことはできなかった。これらのことから、正体不明のSP値($15.3 \sim 16.2\%$ 程度)を持つ N_2O 排出の主体は、少なくともカビではなく、細菌由来の可能性が高いと結論付けられた。このため、細菌による脱窒における N_2O 生成は、既往報告における純粋培養系で提示されているSP値 0% 近辺に必ずしも限定されるわけではなく、異なる細菌種がそれぞれ異なるSP値を持つ N_2O を生成する可能性がある。これらについては、今後の研究によって明らかにされる必要がある。

図 2



SP値及び $\delta^{18}O$ を用いたマッピングアプローチによる N_2O 排出経路の推定。シンボルの色（黒及び灰色）はそれぞれ独立した試験由来のサンプルであることを示す。○：添加なし、◻：クロラムフェニコール添加、△：シクロヘキシミド添加、◊：クロラムフェニコール、シクロヘキシミド添加。

3. 東南アジアにおける畜産業由来温室効果ガス排出抑制に関する取組

筆者は二〇一七年に国際農研に移籍し、現在東南アジア（主にタイ・ベトナム）における畜産由来温室効果ガス排出抑制に関する試験研究を担当している。排出削減ターゲットは、ふん尿処理過程のみならず、主要な排出源である反芻胃由来メタン排出も含まれる。東南アジア諸国においては、近年のめざましい経済発展に伴う人々の食生活の変化及び畜産物消費量の増加が顕著である。既に大きな人口を有し、今後更なる畜産由来GHG排出が増加すると予想される当該地域においても、これらの研究成果を活かした具体的な削減策の提示が求められている。

東南アジアの畜産農家は大多数が小規模であり、処理すべきふん尿量が少ないため、ふん尿処理方法の主体は天日乾燥等のGHG排出が少ない手法である。しかしながら、今後当該地域における旺盛な畜産物需要の伸びに対応するため、生産体系の大規模化、集約化が進み、処理すべきふん尿量が増大することが予想される。この中で、我が国で進められている研究の成果が活用される局面が出てくると考えられることから、排出削減メカニズム理解及びそれに基づく削減技術の開発について、国内外の研究者と連携しながら進めていく予定である。

編集後記

新型コロナウイルス感染拡大がインバウンドや外食需要の激減等で農業分野にも深刻な影響を起しています。

畜産では、三月の和牛枝肉（去勢A四）加重平均価格が1kg当たり一八五七円と前年比▼二五％に落ち込み（一頭あたり三〇万円以上の収入減に相当）、その後も下落傾向が続いて飼育農家の経営を直撃しています。これで思い出したのは本誌二〇一七年四月号の小林信一論文です。当時、飼育農家は一頭八〇万円を上回る価格で素牛を買い付けていました。それ以前の四〇～五〇万円の水準からは相当高価格で負担が大きかったのですが、枝肉価格が1kg当たり二六〇〇円を超えていたため、経営的にはなんとかなっていました。しかし、それ以降は価格が下落基調になるものと見られ「経営難に陥る飼育経営が続出する恐れがある」と指摘していました。それが今回一挙に▼二五％ですから大変です。加えて、安価な輸入牛肉が家庭需要を奪って前年比二割増となっており、和牛の苦戦に輪をかけています。

生花の取引価格や販売量も大きく落ち込んでいます。式典やイベントの中止により業務需要が大幅に縮小した上に、緊急事態宣言後は商業施設などに入る専門店の休業が全国に広がったため、生産者、販売業者とも大き

なダメージを受けています。

そして、各地の生産現場では、来日の見通しの立たない外国人技能実習生などが二千四百人にのぼり、人手不足が深刻になっています。

かかる事態を受け先月成立した補正予算には、農家向け経営支援、飼育牛経営等緊急支援特別対策事業、農業労働力確保緊急支援事業などが盛り込まれました。

一方、同じく補正予算に盛り込まれた雇用調整助成金特別措置の上限額八三三〇円や事業者に対する持続化給付金に対し、上限額の低さ、申請業務の複雑困難さや支給までに相当の時間が掛かることなどへの批判が高まり、政府・与党は雇用調整助成金特別措置の上限額上乗せに向け検討に入ったとのことです。

農林水産分野の支援策が使い勝手がよく、スピーディーで、現場の苦悩に真に応えるものであればと切に願うとともに、仮に雇用調整助成金と同様な課題が生じた場合は、躊躇なく追加の対策をはかるべきと考えます。

（花村）

「お詫び」新型コロナウイルス感染拡大の影響で編集会議等が開催できないなどの事情が重なり、刊行日が遅れてしまいました。読者・関係者の皆様にお詫びいたします。

1951年7月20日第3種郵便物認可 2020年5月1日発行 毎月1回1日発行第70巻第5号

ISSN 0913-6134

農村と都市をむすぶ

特集 スマート農業をめぐって

梅本 雅 谷口信和 秋山 満 友田滋夫
神山安雄 服部信司 安藤光義 堀口健治
矢坂雅充 小林信一
国際農研究成果報告
前田高輝

2020年 5 月号 NO.822



編集代表 谷口信和

農村と都市をむすぶ 二〇二〇年五月号 (第八二二号) 特集 スマート農業をめぐって

一九五一年七月二十日第三種郵便物認可
二〇二〇年五月一日発行 毎月一回一日発行 第七〇巻第五号

農村と都市をむすぶ 頒価二二〇円 送料七五円

東京都千代田区霞が関一ノ二ノ一
全農 農林労働組合
農村と都市をむすぶ編集部
TEL 〇三―三三五〇八―四三五〇



野平の一本桜 (長野県白馬村) (全農林中央本部 渡邉由一)

「農村と都市をむすぶ」編集委員会

(農林行政を考える会)

編集代表	谷口信和	和司治雄	東京大学名誉教授
編集委員	服部信司	信健安和	国際農政研究所代表
	堀口健治	信健安和	早稲田大学名誉教授
	神山安雄	信健安和	農政ジャーナリスト
	加小矢秋	信健安和	東京大学名誉教授
	安友作	信健安和	静岡農専短大教授
		信健安和	東京大学准教授
		信健安和	宇都宮大学教授
		信健安和	東京大学教授
		信健安和	日本大学准教授
		信健安和	明治大学教授

「農林行政を考える会」会員の最新著書の紹介



アメリカ2018年農業法

所得保障の引き上げ・強まる農場保護の動き

2023年まで5年間のアメリカ農業政策のあり方を規定する農業法が成立

- 農業所得の大幅減に対し、不足払いを15%引き上げる
- トランプ政権による農場保護の動きが加速化

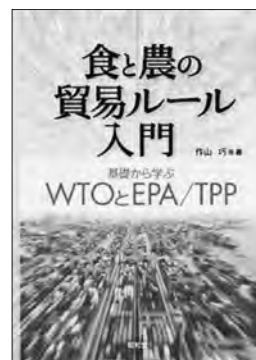
服部信司 著

食と農の貿易ルール入門

—基礎から分かるWTOとEPA/TPP—

WTO、EPA、TPP、FTA、メガFTA—新聞やテレビでは、貿易交渉をめぐってさまざまな言葉が飛び交っている。とっつきにくく感じることも多いニュースを、どうすれば理解できるのか？重要なキーワードのわかりやすい解説や「新聞記事で学ぶ」というコーナーとともに、食や農に関わる人が知っておくべき貿易ルールを基礎から学ぶ。

作山 巧 著



日本のTPP交渉参加の真実

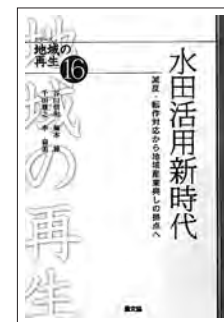
—その政策過程の解明—

TPP交渉への参加は農産品の関税維持に腐心してきた政府にとり大きな方針転換であった。何故に政策大転換が為されたのか。TPP参加協議にも従事した元農水省国際交渉官の著者が歴代7内閣の政策要因・背景を実証的に解明する。

作山 巧 著

◎「アメリカ2018年農業法」は全農林・農村と都市をむすぶ編集部（TEL03-3508-4350）、「食と農の貿易ルール入門」は昭和堂（TEL075-502-7503）、「日本のTPP交渉参加の真実」は文眞堂（TEL03-3202-8480）までお問い合わせください。

「農林行政を考える会」会員の最新著書の紹介



水田活用新時代

—減反・転作対応から地域産業興しの拠点へ—

谷口信和・梅本 雅・千田雅之・李 侖美 著

米価下落、TPP・自由化路線に抗し、水田を地域農業・産業の拠点として活かすための実践的提案の書

「農政改革」下の農業・農村

神山安雄 著



「日本酪農への提言」

持続可能な発展のために

小林信一 著

◎「水田活用新時代」は農文協（農業書センターTEL03-6261-4760）、「農政改革下の農業・農村」は農林統計出版（TEL03-3511-0058）、「日本酪農への提言」は全農林・農村と都市をむすぶ編集部（TEL03-3508-4350）までお問い合わせください。