

IASS Working Paper Series

IASS WP 2021-J003

スマート農業の実情調査の分析：
SAKL(Smart Agricultural Kaizen Level)技術マップに基づく分析

早稲田大学社会科学総合学院 鷺津 明由
日本福祉大学経済学部 中野 諭



*Institute for Advanced
Social Sciences*

スマート農業の実情調査の分析：
SAKL(Smart Agricultural Kaizen Level)技術マップに基づく分析

Analysis of survey results on the actual situation of smart agriculture:
Based on SAKL (Smart Agricultural Kaizen Level) technical map

2021 年 8 月

鷲津 明由¹

中野 諭²

1. はじめに

高齢化が進み、労働力不足が深刻となっている日本の農業現場において、ロボット技術や ICT を活用して、超省力・高品質生産を実現するための、スマート農業の取り組みが進められている³。ここで、本研究ではスマート技術を「情報通信技術(ICT)やモノのインターネット(IoT)を用いて、現場のマネジメントを徹底することによって、投入物の無駄を省き、従来よりも付加価値の高い生産物を生み出すための高度な管理技術」と定義し、スマート農業を、スマート技術を活用した農業と定義する。そして、そのような技術の普及は、製造業—農業—情報通信サービス業の間の新しい産業構造をもたらし、緩やかな経済成長に貢献する可能性がある(Nakano and Washizu, 2018)。その一方、スマート農業普及のための施策が農業の現場レベルのニーズと乖離している可能性も示唆されている(南石, 2019)。農業の現場ニーズにマッチしたスマート農業の普及が望まれる。現場ニーズにマッチした真に望ましいスマート農業の在り方を考えるためには、農業現場におけるスマート化の実情について明らかにする必要がある。日本農業法人協会の 2011 年と 2014 年の「農業法人白書・統計表」作成のために実施した調査では、農業機械の利用状況と ICT の導入取組について調査されており、それによれば、農家が必要な農業機械の導入を模索するプロセスで必然的に ICT の活用が進んでいるという状況が推測された。しかし現状行われている調査によって、マネジメント技術としての「スマート農業」の普及実態がとらえきれているとは言い切れない可能性があった(鷲津・中野, 2020)。

そこで本研究では、日本農業法人協会の協力を得て、スマート農業の実情調査を行ったのでその結果を報告する。実情調査を踏まえ、どのような技術が普及しているのか、それらの技術はどのような問題解決に役立っているのかを解明し、今後この技術のさらなる普及拡

¹ 早稲田大学社会科学総合学院

² 日本福祉大学経済学部

³ 農林水産省、スマート農業の実現に向けた取組と今後の展開方向について

https://www.maff.go.jp/j/seisan/gizyutu/hukyu/h_event/attach/pdf/smaforum-28.pdf

大に資する情報提供を行いたいと考えた。そのような考察のために本研究では、スマート農業のための SAKL(Smart Agricultural Kaizen Level)技術マップの作成を提案した。これは製造業における現場の IT 化推進支援ツールである SMKSL(Smart Manufacturing Kaizen Level)技術マップ(藤島, 2021)の応用である。

本論の構成は、以下のとおりである。まず第 2 節では分析に先立ち、大規模にスマート農業を展開する関東地方の稲作農家に対して行ったヒアリングの要旨をまとめ、スマート農業の本質がマネジメントの強化にある点を確認する。次に第 3 節では日本農業法人協会の協力を得て実施した、スマート農業の実情調査の概要を説明する。第 4 節では SMKSL 技術マップの考え方について説明し、その農業分野への応用(SAKL 技術マップ)について考察する。第 5 節と 6 節では SAKL 技術マップを踏まえて、実情調査の結果を分析し、第 7 節で結論をまとめる。

2. スマート大規模稲作経営者へのヒアリング調査結果

本節では 2021 年 1 月に実施した、(有)横田農場代表 横田修一氏へのヒアリング調査結果をまとめる。横田氏は茨城県龍ケ崎市で、大幅な生産コスト削減を実現した先進的大規模稲作経営を実践されているスマート農業経営の第一人者である。

それによれば、現在農業は歴史的な転換期を迎えている。農地改革を経験した世代から代が変わり、土地に対する意識が変化しつつあり、大規模集積化が進みやすい環境となった。従来の農業経営における機械化の目的は重労働からの解放であったが、稲作では機械化によるこれ以上の労働軽減の余地はほとんど残されていない。スマート農業における取組としては、トラクタやコンバインの自動化(自動運転)が注目されているが、狭隘な日本の農地では自動化(自動運転)の効果は限定的である。たとえ経営が大規模化しても、地形そのものが変化するわけではないので、自動化の効果が大きくなるわけではない。

大規模化に伴いより重要になるのは、同じ人数でより多くの土地面積を経営すること(=生産性向上)である。そのために実施していることは、作業プロセスを分割し、各プロセスを 1 人の担当者が専門的に担当することで生産プロセスの効率化を促しやすくすることである。また、大規模化により重要になるのが「マネジメント」である。例えば、収量の最大化だけでなく、収穫の時期を考慮して栽培品種を組み合わせ、収穫に必要な作業量や機械の必要台数が最適化されるように作付計画を立てる。経営規模に応じて必要な技術(農法)が変化するので、規模に見合った最適な技術選択の管理も必要である。例えば、中小規模経営では 1 台の農機に肥料(追肥分も含め)、農薬、種苗とすべて積み込み作業を 1 度に終わらせることが効率的であるが、大規模経営では異なる。

以上をまとめると、日本の農業経営は現在、自然発生的に大規模化の傾向にある。ただし経営の大規模化は、単なる土地面積の拡大とは異なるので、農機の自動化のみで効率性が向上するわけではない。経営規模の拡大に伴い重要になるのは、きめ細かなマネジメントの実施による生産プロセスの効率化である。

3. スマート農業の実態把握のためのアンケート調査

本研究では、日本農業法人協会の協力を得て同協会に加盟している農業法人を対象に、スマート農業の実態把握のためのアンケート調査を実施した。アンケート調査は 2 回に分けて実施された。1 回目は日本農業法人協会の「農業法人有料情報提供サービス」制度を利用⁴し、同協会が毎年、会員に対して実施している「全国農業法人実態調査」の一部として実施した(1 回目の調査を以下では「実態調査」という)。調査は 2020 年 11 月～12 月にかけて実施され、1149 の回答(回答率 56.2%)を得た。そのうち生産を事業内容の第 1 位としている 1122 法人を分析の対象とした。また 2 回目は同協会の「会員向け情報発信サービス」制度を利用し、2021 年 1 月に実施した(2 回目の調査を以下では「個別調査」という)。回答数は 134(回答率 13.4%)であり、そのうち実態調査にも回答している法人は 108 であった。

各回の調査内容を付表 1 と 2 に示す。実態調査では、各法人が導入しているスマート農業技術の種類、導入に伴うアドバイスの受講や補助金受給の有無、スマート技術の導入目的と結果を尋ね、スマート農業を利用していない法人にはその理由を訊ねた。また、スマート化においては生産や経営のプロセスにおける情報管理がキーポイントであるが、その際その情報管理を、個々の農業経営者のみで完結させずに、クラウド情報として企業や行政を含むステークホルダー全員で共有することで、新たな管理体制が出現しマネジメントが高度化する可能性が指摘されている⁵。そこで、農業経営者がこのような情報開示にどの程度積極性を持つかについての質問も行った。

個別調査では、スマート農業技術の導入の有無について、導入している場合には導入年も訊ねた。また、データの活用状況を、管理に必要なデータを収集していない、収集している、収集し目で見比べて比較するなど分析している、収集し ICT を活用して分析しているの 4 段階に分けて回答してもらった。これはスマート化の本質は、マネジメントにあり、マネジメントはデータの収集と分析によって遂行されるというわれわれの考えに基づく。そのほか、スマート農業技術の採用との関連性を考察するために、過去 5 年間の財務情報、直近の労働力や情報化投資などの資産情報を質問した。

4. SMK 技術マップの説明と SAK 技術マップの提案

アンケート調査結果の分析に先立ち、本節では SMK 技術マップについて説明し、それを農業分野に応用した SAK マップを提案する。SMK 技術マップは、製造業における生産プロセスのスマート化の評価ツールである。それをを用いることで、専門知識がなくてもス

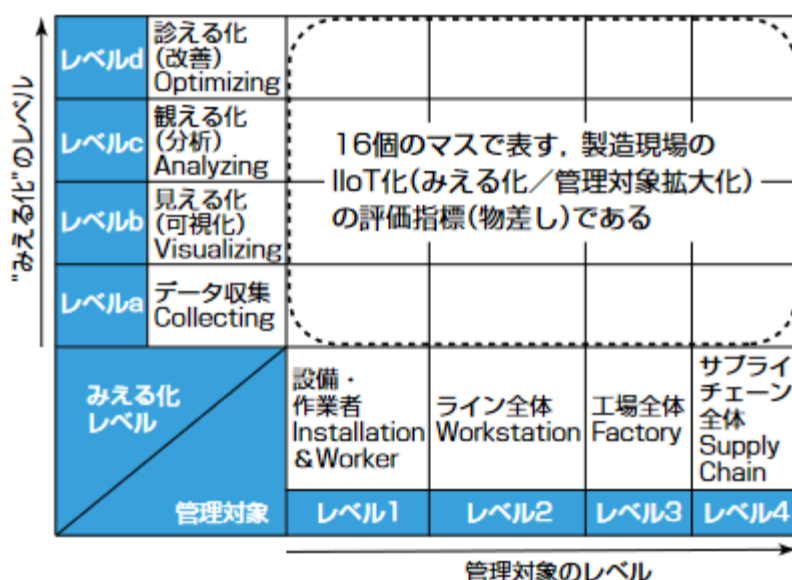
⁴ なお、「農業法人有料情報提供サービス」制度は、会員の回答負担を軽減するために現在では廃止されている。

⁵ 例えば、農林水産省では「サービスビジネスの課題やコスト、リスク等について、関係者で共有・分析し、新たな商品・サービスの創出につなげていくことを目的に、2020 年 4 月、民間企業や研究機関等様々な関係者で構成される『スマート農業新サービス創出』プラットフォームを設立」させている。

<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/nougousien.html>

マート化の現状レベルを評価し、改善のための方策を検討することができるようになる(藤島, 2020)。この SMKL の活用によって、企業はスマート化への継続的な投資判断が可能になる。そこでこの指標を、農業分野にも応用した SAKL 技術マップを提案し、アンケート調査結果を、SAKL 技術マップを踏まえて評価することで、農業のスマート化への継続的な投資の道筋を考察できると考えた。

図 1 は藤島(2020)による SMKL 技術マップである。図 1 の縦軸方向には 4 段階のみえる化レベルが、横軸方向には 4 段階の管理対象レベルが示されている。各事業者は自身の製造現場の現状がこの 16 個のマスのどこにあるかを判断することで、製造現場のスマート化を簡単に評価することができる。縦軸方向のみえる化のレベルは、製造現場の情報収集や解析を紙や人手ではなく、電子化・自動化して行っているかどうかを評価している。電子化・自動化された方法でデータ収集を行っている場合にレベル a、その情報を可視化(表やグラフで自動表示するなど)している場合にレベル b、さらにその情報を基準値と(自動)比較するなど分析を行っている場合にレベル c、それに加え改善のためのフィードバック機能も備えている場合にレベル d とするとされている。一方、横軸方向の管理対象のレベルは、自動車工場などで個別の設備・作業者のみを対象とした管理を行っている場合にレベル 1、ライン全体を対象としている場合にレベル 2、工場全体を対象としている場合にレベル 3、1 つの工場を超えてサプライチェーン全体を対象としている場合にレベル 4 であると定義している。ただし横軸方向のレベル分割は業種ごとにその特性を踏まえて、対象を変える必要があるとされている。



IIoT: Industrial Internet of Things (製造業における IoT)

図 1 SMKL 技術マップ(藤島, 2020)

設備設計者は、現状の SMKL レベルの診断を行うとともに、改善したい重要業績評価指標(Key Performance Indicator : KPI)を決める。そして、選択した KPI を改善するためのスマート化投資計画を作成する。

KPI は生産管理の標準化のために策定された ISO22400 で定義されている指標で、Efficiency indicators (効率, 9 種類), Quality indicators(品質, 9 種類), Capacity index(能力, 4 種類), Environmental indicators (環境, 4 種類), Inventory management indicators (在庫管理, 6 種類), Maintenance indicators (保守, 3 種類)の 6 つの分野に 35 種類の評価指標を定義している。ISO22400 の策定により、標準化された指標の下で製造現場のパフォーマンスを評価できるようになったという(鍋野, 2019)。

レベル3	管理に必要なデータを収集, ICT活用して分析している				
レベル2	管理に必要なデータを収集し, 目視で分析している				
レベル1	管理に必要なデータを収集している				
レベル0	管理に必要なデータを収集していない				
見える化レベル 技術類型	導入していない	作業プロセスアシスト先進機器 経営や出荷の管理支援システム 生産プロセス管理支援システムと経営・出荷管理支援システムのシステム間連携	スマートトラクタ 農業・肥料散布先進機器 センシング機器 生産プロセスの管理支援システム	スマート田植機 スマート収穫機 水管理・灌水・散水システム 施肥調節・自動先進機器 その他診断事業	
		レベル0	レベル1(初期)	レベル2(中期)	レベル3(後期)

図 2 SAKL 技術マップ

本研究では、SMKL 技術マップの考え方を応用して、農業のスマート化の現状を評価するための SAKL 技術マップを提案し、それに基づいてアンケート調査結果を分析し、農業における今後のスマート化の進め方について考察することを考えた。図 2 は SAKL 技術マップの概念図である。図 2 の縦軸は個別調査における「貴法人のデータの活用状況をお聞かせください。」の問に対する回答を踏まえて 4 つに区分した。図 1 の SMKL 技術マップでは、横軸方向のレベル分割は、管理対象の範囲で定義されていたが、これは自動車生産工場のように個別部品ごとに生産工程が区切られているタイプの工場の分割事例であり、業種が異なる場合にはその特性を踏まえて対象を変える必要があるとされていた(藤島, 2020)。個別調査では、12 種類のスマート農業に関連しそうな個別技術の導入の有無を、その最初の導入年とともに質問している。図 3 はその結果のまとめであるが、それによると 1990 年代から導入されていた技術, 2000 年代に導入が進んだ技術, 2010 年代以降最近になってから導入され始めた技術というような技術区分ができそうである。そこで図 2 の SAKL 技術マップの横軸の区分は、技術が普及し始めた時期によって区分することを考えた。

実態調査では SAKL 技術マップの横軸のレベル 1 以上の法人に対して、それらの法人はどのような問題点を改善しようとしてスマート農業に取り組んだのか、また取り組んだ結果としてその問題点は改善されたかどうかについて質的な質問を行っている。そこでこれらの質問内容を 5 つの評価指標（効率、品質、能力、環境、保守）にまとめることにより、スマート化の目的とその成果を評価することとした。ここで作成した評価指標は、生産管理の標準化のために策定された ISO22400 で定義されている KPI の 6 つの分野のうち、在庫管理を除く 5 つの分野に対応している。農業のスマート化の目的と成果を評価するための 5 種の評価指標を構成している質問項目を表 1 に示す。表 1 の農業の KPI(目的/結果)は対応する質問のうちのどれか一つに「yes」の回答があった場合に 1 となる変数である。

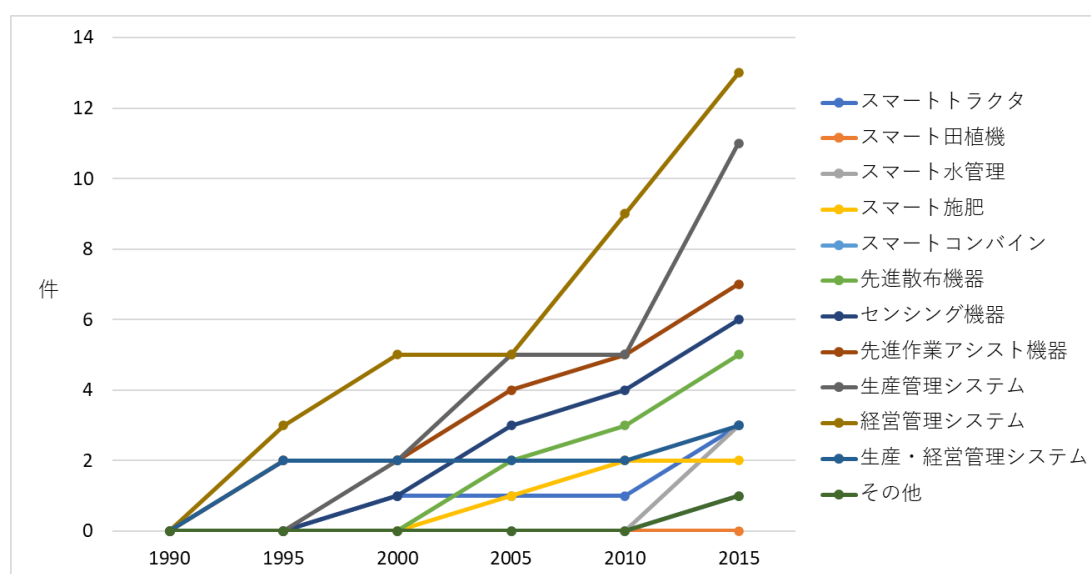


図 3 個別調査における技術導入状況

表 1 農業の重要業績評価指標(KPI)

	KPI(技術導入の目的)	KPI (技術導入の結果)
Efficiency indicators 効率	労働時間や作業の工数を削減するため 労働力不足の解消のため 生産費(原料資材投入費用)の削減のため	作業スピードが向上した。 生産コストが低減した。 利益率の改善につながった。
Quality indicators 品質	付加価値向上のため	品質の向上や付加価値を上げるための工夫を実現することができた。
Capacity index 能力	収量や収益、土地利用率の向上のため 規模拡大のため 非熟練者の育成のため 事業分野の拡大のため	新規事業の拡大や、規模の拡大を実現することができた。 新規就労者や若者の就労があった。 新規事業機会が創出された。
Environmental indicators 環境	作業負荷の軽減や労働の快適化のため	作業の効率化や労働環境改善があった。
Maintenance indicators 保守	栽培管理、肥培管理、水管理、給餌システム等の生産・工程管理の最適化のため 生産費用や財務にかかわるデータ管理など経営管理の最適化のため 農機のシェアリング、栽培管理サービスの利用など新 IT ビジネス利用のため	作業・工程の簡素化・省力化を達成することができた。 地域の協力関係が強化された。

現状ではスマート農業の普及範囲は限られており、多くの農業法人は図 2 の SAKL 技術マップの横軸区分の「レベル 0」の状況にある。イノベーションの普及を促進/阻害する要因については、ロジャース(1997)による考察が著名である。すなわちイノベーションはそれが比較優位(従来技術と比較した優位性)、適合性(現状との距離)、わかりやすさ、試用可能性(実験的な使用が可能)、可視性(採用したことを周囲から観察されやすい)という 5 つ性質を持つとき普及しやすく、これらの性質がない時に普及しにくいとされる。実態調査ではスマート農業関連技術をいずれも導入していない農業法人に、その理由を尋ねたが、その理由をそれぞれロジャース(1997)の挙げた 5 つの普及要因に関連付け、どの要因の欠如によりスマート農業が導入されないかを評価した。ある法人が、ある要因に関連する質問のうちのどれか一つにでも「yes」と答えていた場合、その法人は当該要因の欠如によりスマート農業を導入していないと評価する。

表 2 スマート技術の受け入れを普及/阻害する要因(ロジャース ; 1997)

普及要因	関連する質問項目
比較優位	収益が見込めない、疑わしい
適合性	性能が不十分、実情に合わない、ネット環境が悪い、データ収集が面倒
わかりやすさ	操作できない、導入方法が分からない、技術習得、知識が不確か
試用可能性	初期投資が高額
可視性	周囲が否定的

5. アンケート調査結果の記述的分析

5.1. 実態調査による技術類型別集計結果

本節では実態調査の集計結果を報告する。実態調査では現時点のスマート農業技術の採用状況と、採用の目的と結果、採用していない法人についてはなぜ採用していないのかという状況を把握できる。

分析対象とした法人のうち、873 法人について技術類型を判別することができたが、図 4 はそれらの法人についての回答状況をまとめている。873 法人のうち初期型から後期型の何らかのスマート農業技術を導入している法人の割合は 64%であったが、図 4 で詳しく見ると、スマート農業技術が採用されている割合が高い営農類型は稲作、酪農、肉用牛であり、とくに稲作では後期型の技術導入が進んでいる。酪農、肉用牛では中期型の技術導入の割合が多い。何らかのスマート農業技術を導入していると答えた法人の約 40%が稲作経営者であった。また何らかのスマート農業技術を導入している法人のうちの 73%はスマート化のための、国、県、農協、メーカー等のアドバイスを受けたことがあり、51%が技術を導入する為に補助金を利用したと答えている。補助金がなくてもスマート農業技術の採用が実施されているケースも約半数あることは注目できる。

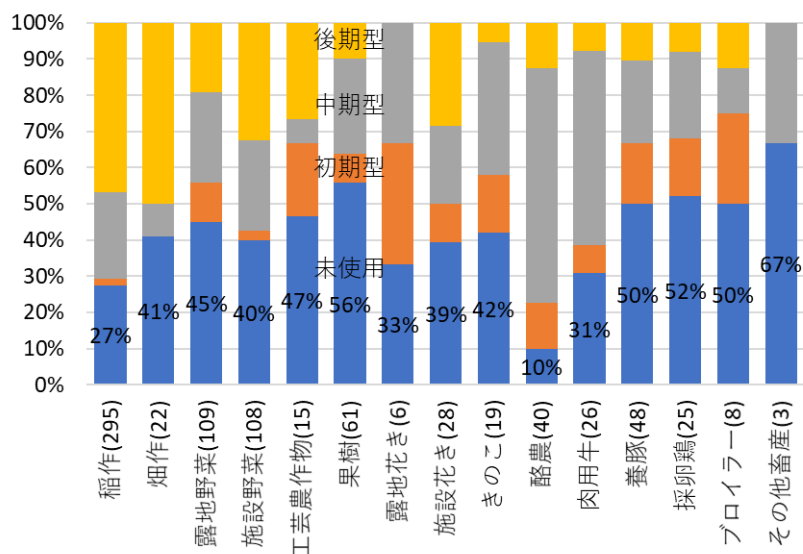


図 4 営農類型別スマート農業技術類型
(カッコ内の数値は回答数，総数 813 法人(未回答 59 法人，秘匿 1 法人))

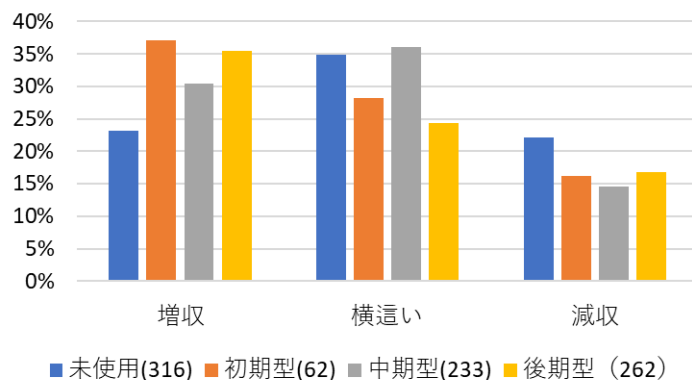


図 5 技術類型別売り上げの変化状況
(2019 年の 2018 年比，カッコ内の数値は回答数，総数 873 法人)

図 5 は技術類型別にみた 2019 年の 2018 年に対する売り上げの変化についての回答状況である。スマート技術を未使用のケースに対して，何らかのスマート技術を導入している場合の増収と答えている比率が高くなる。

図 6 はスマート農業の技術類型別に，何%の法人が当該経営課題を当てはまると考えているかを示す。全体的に大きな経営課題は労働力，資材コスト，生産物価格であるが初期型技術採用法人は労働力と生産物価格を，後期型技術採用法人は基盤整備と資材コストを課題と考えるケースが他に比べて高くなる。2 節のヒアリングによると，自動運転のスマート農機を活用するためには農地の改変(畔を取り払う等)が必要になったり，経営が大規模化するにつれてわずかな資材単価の差が大きなコスト差となる可能性があったりすることが指摘

されていたが、図 6 の結果はそのような状況を反映しているようである。

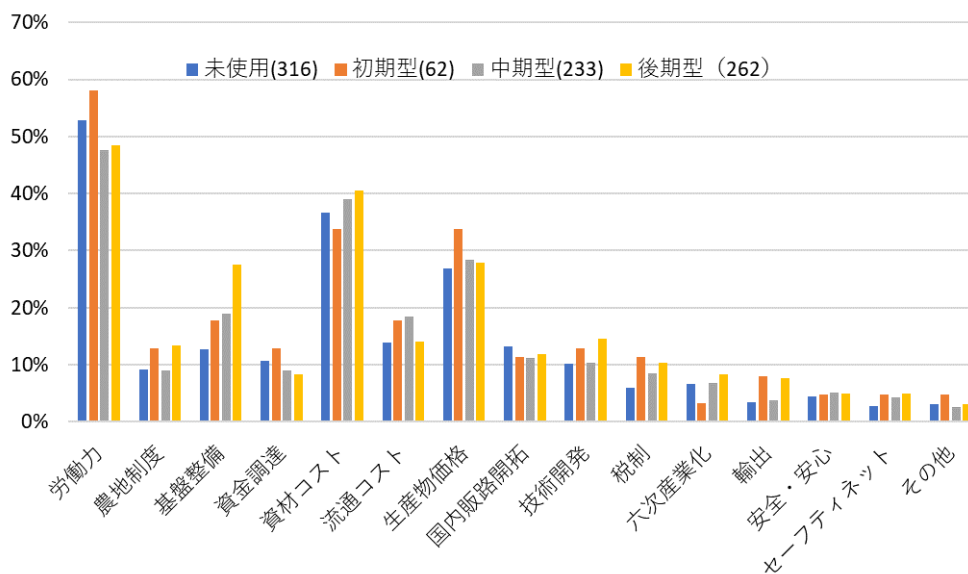


図 6 技術類型別当てはまる経営課題（カッコ内の数値は回答数，総数 873 法人）

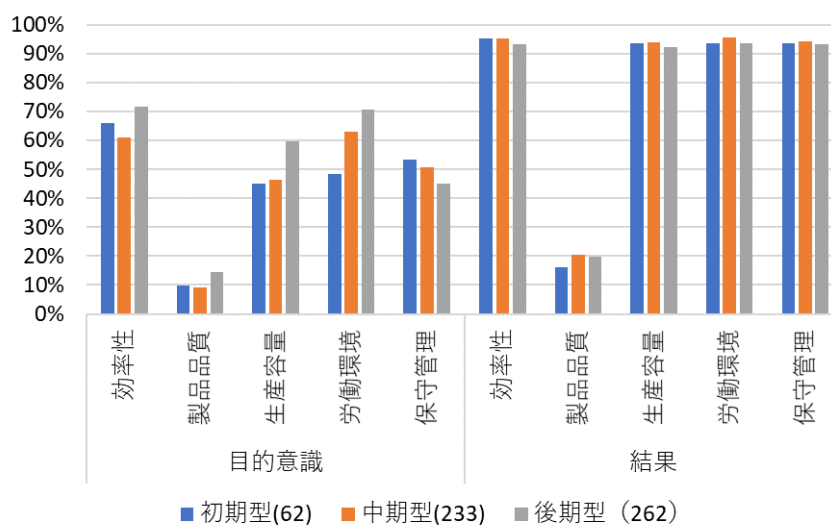


図 7 技術類型別スマート農業技術利用の目的と結果
（カッコ内の数値は回答数，総数 873 法人）

図 7 は何らかのスマート農業技術を利用している法人に対して、表 1 の KPI の 5 つの項目別に、どの KPI の向上を目指してスマート農業技術を導入したのか(目的意識)、利用した結果としてどの KPI が改善されたのかについて、集計した結果を示す。それによるとどの技術類型に分類される法人についても 50~70%が効率性，生産容量，労働環境，保守

管理を改善するためにその技術を導入したが、導入した結果として、どの項目についてもほぼ 9 割の法人がそれらの KPI が改善されたと答えていることが分かった。目的意識の方を見ると、どの KPI の項目についても後期型の技術を採用している法人ほど、より多くの割合がその項目の指標改善を意識していたことがわかる。製品品質の改善については、目的においても結果においても認識度合いが低い。

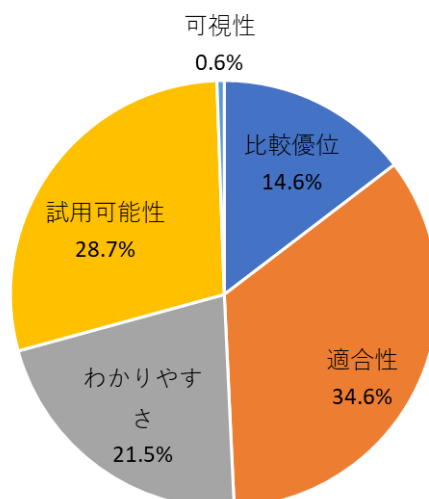


図 8 スマート農業技術導入を妨げている要因（総数 540 法人）

図 8 はいずれのスマート農業技術も利用に回答のなかった法人（540 法人）に対して、どのような要因が採用を妨げているのかを、ロジャース(1997)の挙げたイノベーション普及要因に従って整理した結果を示す。一番大きな要因は適合性であり、スマート農業技術の新規性が認められたとしても、現状に適合性がないとして採用されないケースが多いことが分かった。本研究では初期投資が高い場合に試用可能性が高くなると考えているが、この要因が 2 番目に大きな阻害要因となっている。ただその一方で、スマート農業技術を利用している法人の約半数は補助金がなくても技術を導入しており、初期投資の高さだけがスマート農業技術の普及を阻害しているとも言えないだろう。

以上をまとめると、技術類型を判別することができた 873 法人のうち、64%が初期型から後期型の何らかのスマート農業技術を導入しており、営農類型別には稲作で技術導入が進んでいる。何らかのスマート農業技術を導入している法人のうちの約 5 割が導入に際して補助金を利用した。何らかのスマート技術を導入している場合には、スマート技術を未使用のケースに対して 2019 年は前年に対して増収と答えている比率が高くなる。全体的にみて農業法人にとっての大きな経営課題は労働力、資材コスト、生産物価格であるが、初期型技術採用法人は労働力と生産物価格を、後期型技術採用法人は基盤整備と資材コストを経営課題と考えるケースの比率が相対的に高いという違いがみられる。スマート農業技術を

利用している法人に対して、KPI の 5 項目別に、技術導入の目的意識と導入結果について尋ねたところ、50~70%の法人が効率性、生産容量、労働環境、保守管理の KPI を改善するために技術導入したとする一方、ほぼ 9 割の法人がそれらの KPI が改善されたという結果を答えていることが分かった。製品品質の KPI は、改善の目的としても結果としても意識されている割合が低かった。いずれのスマート農業技術も利用の回答のなかった 540 法人にとって、技術導入を妨げている一番大きな要因は、技術の現状への適合性であることが分かった。

5.2. 個別調査による見える化レベル別集計結果

本節では個別調査の集計結果を報告する。個別調査ではスマート農業の採用状況とその採用時期、見える化レベルの尺度となるデータの活用状況(データを収集していない~ICT で活用までの 4 段階の尺度)を尋ねている。また最近 5 年間の財務状況や従業員構成比に関する数値も記入してもらった。

データの活用状況に関する問いに回答があり、見える化レベルの判別のついた 73 法人の回答状況を図 9 に示す。40%の法人がデータを収集し目視で分析しており、収集しない、収集のみ、収集して ICT で分析しているケースがそれぞれ約 20%ずつという状況であった。見える化レベル 1 以上の(データを収集している/目視または ICT で分析している)法人のうち 43%は稲作である⁶。

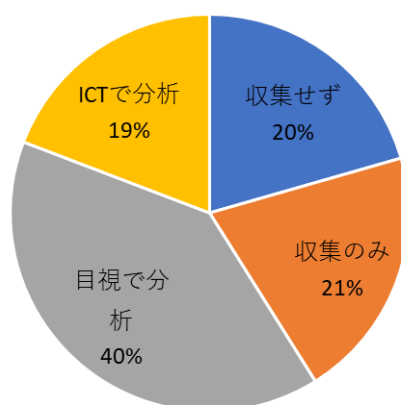


図 9 見える化レベル別構成比(73 法人中)

図 10 は、それぞれの見える化レベルに分類された法人がどのスマート農業技術を採用しているかを示している。見える化レベル 2 以上の(データを目視または ICT で分析している)法人の約 5 割は生産プロセスの管理支援システム(栽培・作業・環境制御・搬送・選

⁶ 個別調査では営農類型を調査していないが、実態調査の調査結果を個別調査と結びつけることにより営農類型の判別のできた法人数をカウントした。個別調査に回答した法人のうち 2 割は実態調査に回答がないため、43%は過大または過少評価の可能性はある。

果・制御貯蔵等のシステム，混合飼料システム，牛の健康管理のためのシステム 等)を導入している。またデータを ICT で分析している法人の 2~3 割が水管理システム，灌水・散水システムや，施肥の調節，自動化のための先進機器という後期型のスマート技術を利用している。見える化レベル 3 以上の法人は相対的に中期型，後期型技術を採用している比率が高い一方，初期型技術採用法人には見える化レベルが 0 や 1 の割合が少ないことも興味深い観測事実である。初期型技術採用法人のうち見える化レベル 1 以下の割合は 7% であるが，同割合が中期型では 21%，後期型では 26% となる。スマート農業機器が自動でデータを収集し，自動で最適化まで実施していれば，経営者自身がデータの収集・分析を意識しなくても，最適化が実施される可能性が考えられる。

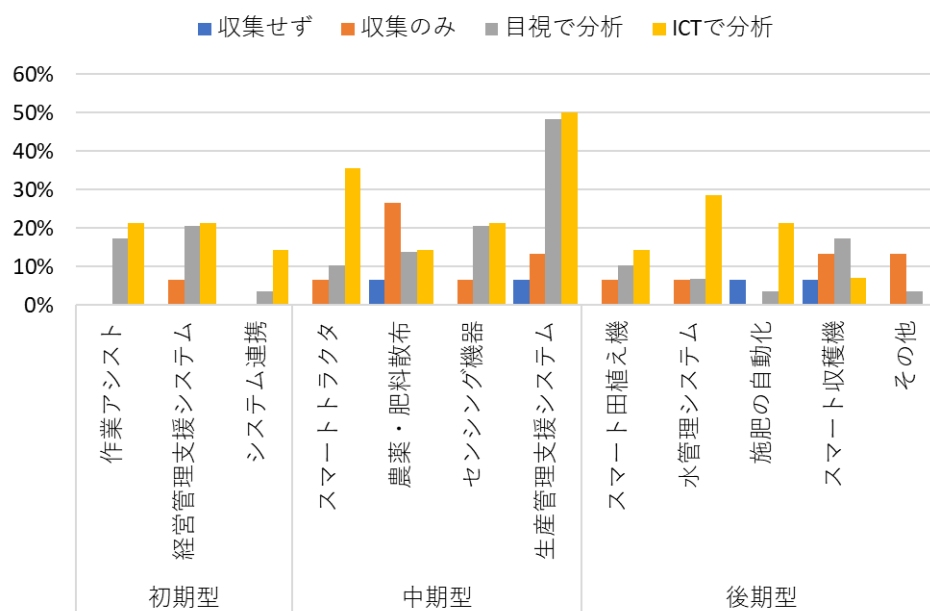


図 10 見える化レベル別採用しているスマート農業技術（総数 73 法人⁷⁾）

図 11 の見える化レベル別平均従業員構成比をみると，見える化レベル 2 以上の(データを目視または ICT で分析している)法人では相対的に若い世代の比率が高い。

⁷⁾ 一つの法人が複数の技術を所有している場合がある。図 10 は 73 法人が所有する延べ 105 の技術についての集計結果である。

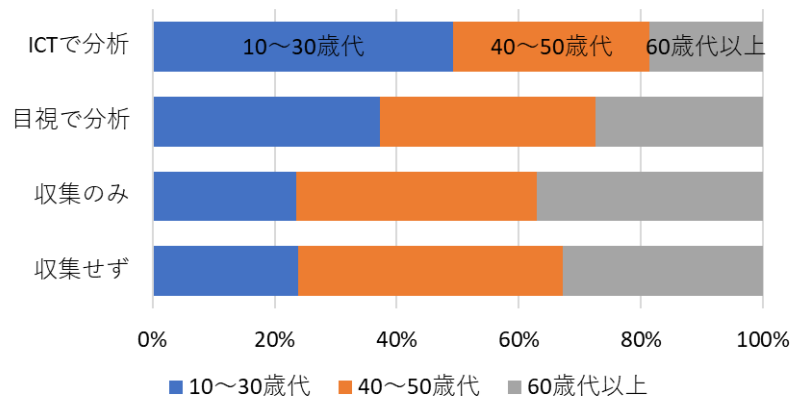


図 11 見える化レベル別平均従業員構成比 (73 法人の見える化レベル別の平均値)

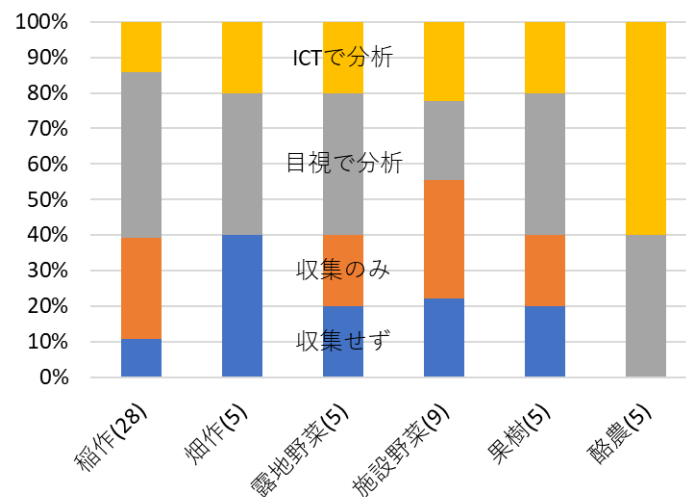


図 12 営農類型別データの分析・収集を行っていると回答した法人の割合
(カッコ内は回答数, 総数 57 法人(未回答 9 法人, 秘匿 7 法人))

図 12~15 は個別調査と実態調査の両方を回答している法人について、見える化レベル別に、実態調査の調査項目を集計した結果である。図 12 によると、見える化レベル 2 以上(データの収集に加え目視または ICT で分析も行っているケース)の割合は、稲作、酪農で相対的に高い。図 13 で、見える化レベル 2 以上の法人は 2018 年に対して 2019 年が増収と答えた比率が相対的に高いが、見える化レベルが低くても増収のケースがある。

図 14 で見える化レベル別に問題視している経営課題を見ると、いずれのケースでも労働力、生産物価格、資材コストを経営課題としている割合が相対的に高いが、いずれについてもレベル 3 よりレベル 1 の場合にその割合が高くなっている。つまり、データ分析のレベルが高い場合には、これらの経営課題を感じにくくなっているというように解釈でき、見える化により経営課題が解決しやすくなるという仮説が成り立ち得る。図 15 で、見える化レベル別に、スマート農業技術利用がどのような目的で導入され、どの項目で結果改善が見ら

れたかについての結果を集計した。見える化レベルが高い法人ほど、各項目に対する目的意識を持って技術導入を行ったという比率が高くなっている。そして見える化レベルが高い（レベル2以上）場合には、ほぼ8割の法人が効率性、生産容量、労働環境、保守管理の項目に、技術導入後の改善の手ごたえを意識していることが観察される。データ分析を実行しながらスマート技術導入がされた場合に、高い確率でその成果が実現すると結論付けてよいだろう。ただしここでも、製品品質のKPIは、改善の目的としても結果としても意識されている割合が低かった。

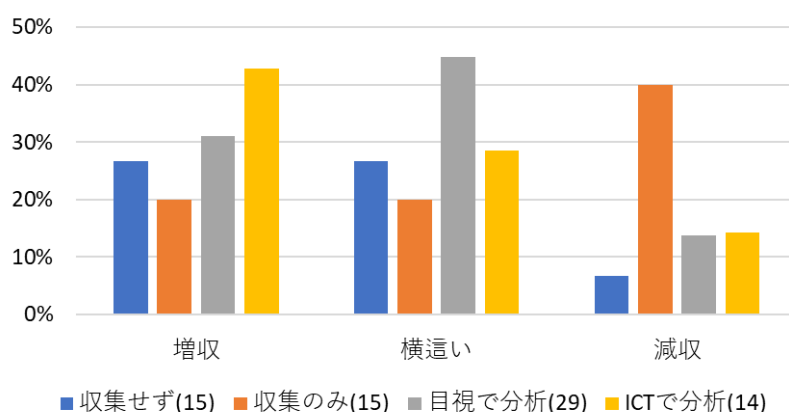


図 13 見える化レベル別売り上げの変化状況
(2019年の2018年比, カッコ内は回答数, 総数 73 法人)

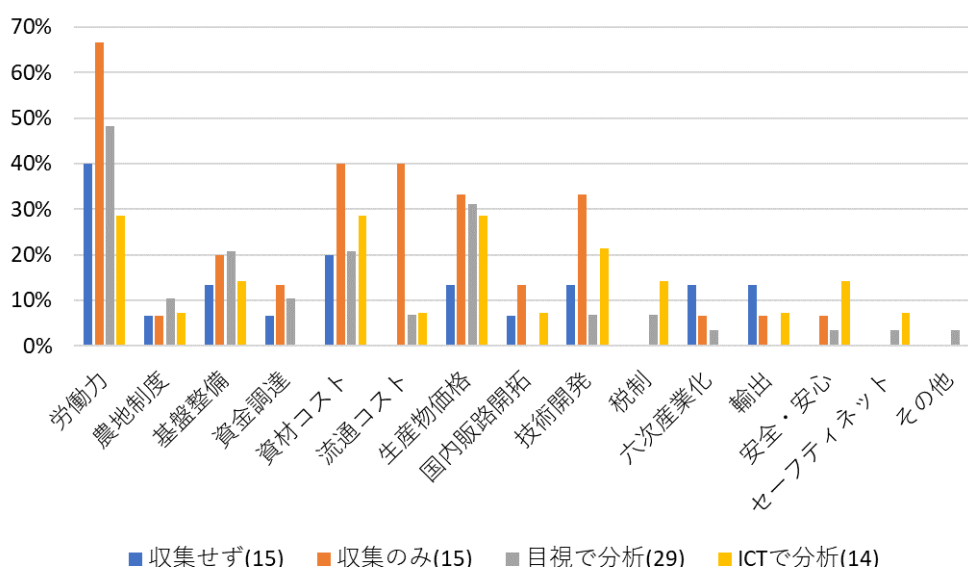


図 14 見える化レベル別当てはまる経営課題(カッコ内は回答数, 総数 73 法人)

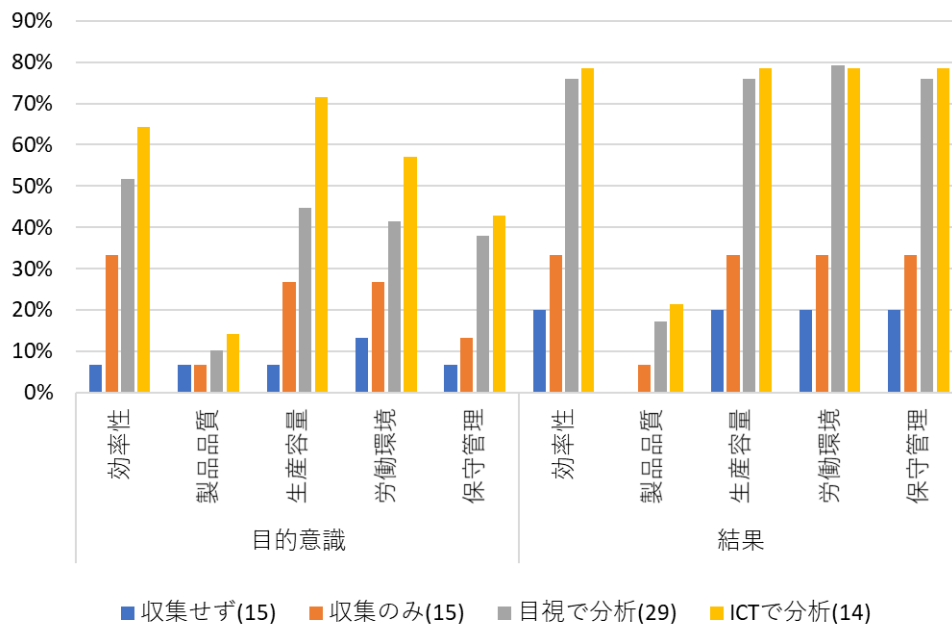


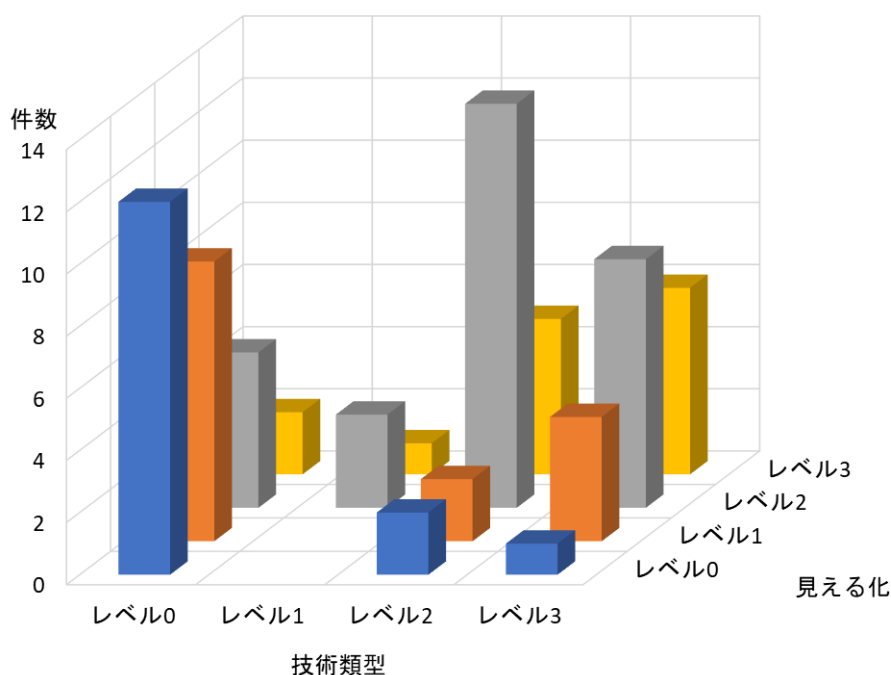
図 15 見える化レベル別スマート農業技術利用の目的と結果
(カッコ内は回答数，総数 73 法人)

以上をまとめると、見える化レベルの判別のついた 73 法人のうち、40%の法人がデータを収集し目視で分析しており、収集しない、収集のみ、収集して ICT で分析しているケースがそれぞれ約 20%ずつという状況であった。見える化レベル 3 以上の法人は相対的に中期型、後期型技術を採用している比率が高い一方、中・後期型技術採用法人には見える化レベルが 0 や 1 の割合が高まる事実も興味深かった。スマート農業機器が自動でデータを収集し、自動で最適化まで実施していれば、経営者自身がデータの収集・分析を意識することなくとも、最適化が実施される可能性が考えられた。見える化レベル 2 以上の(データを目視または ICT で分析している)法人では、相対的に若い世代の比率が高い。

個別調査の結果を実態調査とリンクさせ、見える化レベル別に集計した実態調査の結果を見ると(未回答，秘匿を除く 57 法人)，見える化レベル 2 以上(データの収集に加え目視または ICT で分析も行っているケース)の割合は、稲作，酪農で相対的に高い。見える化レベル 2 以上の法人は 2018 年に対して 2019 年が増収と答えた比率が相対的に高いが、見える化レベルが低くても増収のケースがある。見える化レベル別に問題視している経営課題を集計した結果から、データ分析のレベルをあげれば、見える化により経営課題が解決しやすくなるという仮説を設定し得た。最後にデータ分析を実行しながらスマート技術導入がされた場合に、高い確率でその成果が実現しそうだということが読み取れた。

5.3. SAKL 技術マップによる集計

図 16 は個別調査の結果に基づく SAKL 技術マップの集計状況である(73 法人)。以下では、レベル i の見える化とレベル j の技術類型との交点のセルを $M(i,j)$ という記号で示すことにする。図 16 では $M(0,0)$ と $M(2,2)$ にピークがある。少数ではあるが $M(0,3)$ や $M(3,0)$ というように見える化と技術類型のレベル区分が著しくアンバランスのケースもある。見える化と技術類型がともに進んでいるとみなされる、SAKL 技術マップの右上のセルに位置する法人($i>3, j>3$)は 32 あり、約 44%を占める。以下では、SAKL 技術マップ右上に位置する法人がどのような法人であるかを報告する。



ただし、見える化については、レベル 0；収集せず、レベル 1；収集のみ、レベル 2；目視で分析、レベル 3；ICT で分析、技術類型についてはレベル 0；導入せず、レベル 1；初期型、レベル 2；中期型、レベル 3；後期型を示す。

図 16 SAKL 技術マップ(総数 73 法人)

SAKL 技術マップ右上に位置する法人について、営農類型は半数が稲作である(図 17)。これらの法人が、2018 年に対する 2019 年の売り上げの変化状況が減収であるケースは 1-2 割と少ない。特に見える化レベルが 3 の法人は、増収を示す割合が最も高い(図 18)。図 19 の当てはまる経営課題では、労働力、生産物価格、資材コストをあげる割合が多いことは、5.1 節の結果と共通であるが、4 番目に基盤整備をあげる割合が大きくなっていることに注目できる。2 節のヒアリングによると、自動運転のスマート農機を活用するためには農地の改変(畔を取り払う等)が必要になるということであったが、ここでもその状況が伺える。図 20 では、特に技術類型 3 の法人は効率性、生産容量、労働環境の改善に大きな目的意識を

もってスマート化に取り組んでいる。SAKL 技術マップ右上に位置する法人によるスマート化の結果は、5.1 節の図 7 や 5.2 節の図 15 よりも顕著に、多くの法人が効率性、生産容量、労働環境、保守管理の改善状況进行评估していることが分かる。見える化と技術類型のレベルアップは、法人のパフォーマンスの改善に効果を持つと結論付けられそうである。ただし、製品品質の改善については、現状ではスマート農業技術導入の目的意識にも含まれていないし、導入結果としても認識されていないことに、注目すべきかもしれない。

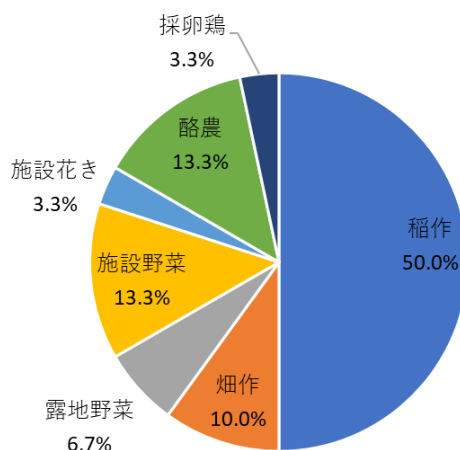


図 17 SAKL 技術マップ右上に位置する法人の営農類型(総数 32 法人)

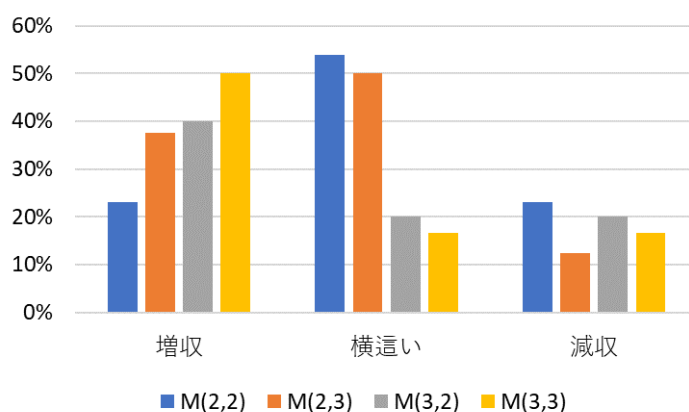


図 18 SAKL 技術マップ右上に位置する法人の売り上げの変化状況(2019 年の 2018 年比、総数 32 法人)

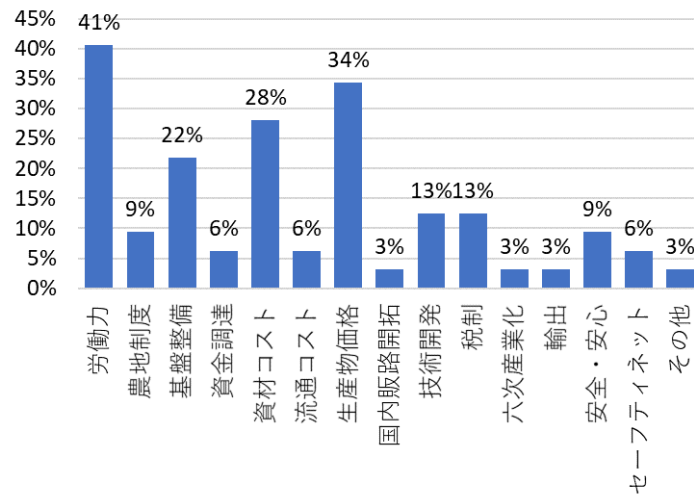


図 19 SAKL 技術マップ右上に位置する法人の当てはまる経営課題(総数 32 法人)

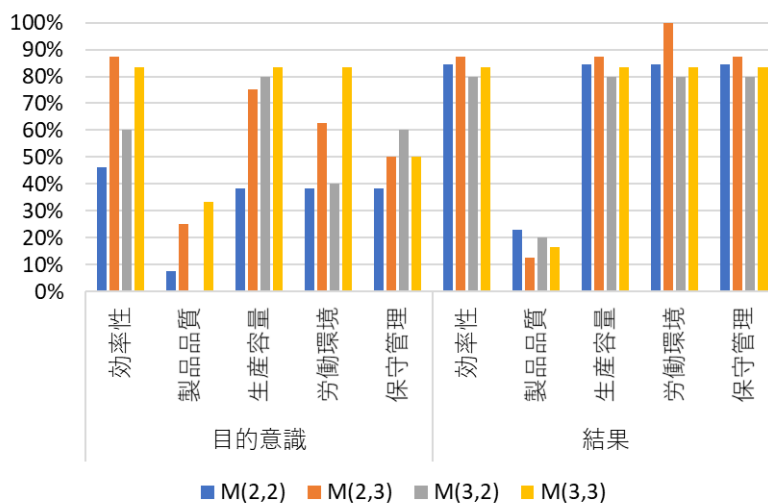


図 20 SAKL 技術マップ右上に位置する法人のスマート農業技術利用の目的と結果
(総数 32 法人)

6. アンケート調査結果による回帰分析⁸

6.1. スマート農業技術類型の順序選択モデルの推定：実態調査を用いた分析

実態調査の結果を用いて、どのような要因があると、初期型、中期型、後期型のスマート農業技術が採用されるかを、次のような同時推定モデルを用いて分析した。モデルでは第 1 段階でスマート農業技術を採用するか否かについてプロビット分析を実施し、第 2 段階でスマート農業技術を採用している場合に、初期型から後期型の技術選択について順序プロ

⁸ 回帰分析には 5 節で結果を整理したアンケート調査のデータと同じものを用いているが、回帰式に含まれるすべての変数について欠損値のない法人のみを対象としているため、5 節と 6 節では観測数(観測される法人数)に差がある。

ビット分析を実施している（ヘックマンの二段階推定）。現状では4割弱もの法人がスマート農業技術を未導入であることから、偏りのない結果を得るには、(1)(2)式の同時推定が必要と考えた。これにより、スマート農業技術未導入の法人もサンプルに加えて、スマート農業技術そのものの採用要因を踏まえた上で、偏りのない初期型、中期型、後期型の技術類型選択行動を分析することが可能になる。

$$\begin{aligned} \text{第1段階: } d &= \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i x_i \quad (1) \\ \text{第2段階: } y_k &= \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i \quad y_k = 1, 2, 3 \quad (2) \end{aligned}$$

ただし d はスマート農業技術を導入している場合に1、そうでない場合に0となるダミー変数である。 y_k は初期型、中期型、後期型の技術類型を示す序数である。 x_i はスマート技術の利用を説明する変数であり、実態調査の調査項目から選択する。

推定結果を付表3に示す。また付表3のうち、有意に計測された係数値だけを抜き出して表3に示す。

表3 順序プロビット分析の結果

第2段階：どの技術類型を選択するか				第1段階：技術を導入するか否か			
KPI指標	目的意識	生産容量	0.371 **	生産1位	営農類型	③露地野菜	-0.812 **
		保守管理	-0.307 **			⑬養豚	-1.215 ***
生産1位	営農類型	①稲作	0.681 **			⑭採卵鶏	-0.930 *
		②畑作	1.078 *			正社員の平均年代	-0.014 *
		⑪酪農	-1.134 ***	現在の経営課題		⑩税制	0.921 *
		⑫肉用牛	-0.735 *			スマート農業のアドバイス	0.671 ***
		売上高(万円)	0.00000004 ***			情報提供	0.081 ***
現在の経営課題		①労働力	-0.274 *	否定要因として疑念を持		比較優位	-1.001 **
		⑩税制	0.486 *			適合性	-2.302 ***
		⑪六次産業化	0.544 **			わかりやすさ	-1.264 ***
						試用可能性	-1.821 ***
						可視性	2.264 *
						定数項	1.636 ***

括弧内は標準誤差, *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

表3の第1段階の結果によれば、その他耕種と比べて技術導入に積極的でない業種として露地野菜、養豚、再鶏卵があるが、これは5.1節の図4の実態調査の結果において、技術未使用が相対的に高めの業種である。正社員の平均年代について、スマート農業技術の採用に若い世代が積極的ということが分かった。5.2節の図11の個別調査の結果でも、見える化レベルは若い世代である方が高くなる傾向があった。スマート農業のアドバイスや情報提供に関するリテラシーは、スマート農業技術の採用を進める要因である。ロジャース(1997)の挙げた普及要因のうち、比較優位、適合性、わかりやすさ、試用可能性はその欠如

がスマート農業技術の採用阻害要因であることが示された⁹。次に第2段階の推定結果は、どのような性質を持つ法人がより後期型のスマート農業技術を採用しているのかを示すと解されるが、それによると KPI の5項目のうち生産容量の改善を目指す場合、営農類型がその他耕種の場合と比べて稲作と畑作である場合、売上高が大きい場合、経営課題として税制と六次産業化をあげている場合に、より後期型のスマート農業技術を採用するようになるという結果であった。一方、KPIのうち保守管理の改善を目指す場合、営農類型がその他耕種の場合と比べて酪農と肉用牛である場合、経営課題として労働力をあげている場合には必ずしも後期型技術を必要としていない状況が伺えた。5.1節の図4によると、酪農と肉用牛はスマート技術そのものの導入は比較的進んでいる業種であるが、本研究で定義した後期型技術は採用していない。

6.2. 要素投入関数の推定：個別調査を用いた分析

個別調査では過去5年分の財務データについて調査しているので、その調査結果を用いて、次のように年間売上高に対する各費用項目の投入関数を推定した。

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln x + \beta_2 z \quad (3)$$

ただし y は各投入要素の投入量(従業者数、土地を除く有形固定資産+無形固定資産、ソフトウェア、情報処理経費+通信費、労務費、材料費)であり、 x は年間売上高である。また z はスマート農業技術技術類型を示す序数変数であり、初期型から後期型に技術類型が変化することの効果を観察した。被説明変数が従業者数、労務費、材料費であるときには、2015年度から2019年度の5年分の調査結果をプールしたデータセットに対して回帰分析を実施した。土地を除く有形固定資産+無形固定資産、ソフトウェア、情報処理経費+通信費については2019年度の数値のみを調査したので、これらが被説明変数であるときには2019年度のデータセットに対して分析を実施した。

(3)式の計測結果を表4に示す。また(3)式にさらに営農類型を説明変数として加えたケース、(3)式の技術類型の序数の代わりにSAKL技術マップのセルの位置を示す1~16の序数を投入したケースも計測した。これらの結果をそれぞれ付表4と5に示す。

表4によれば、どの投入要素についても売上高に対して有意に1より小さい正の係数が計測された。これは売上高の増加に対して、各要素投入に規模効果が働くということを示す。特に、従業者数と情報処理経費+通信費には大きな規模効果が働いている。技術類型に係る係数は労務費について正の有意な係数が計測されている。つまりより後期型のスマート農業技術を採用することは、労務費を押し上げる効果を持つという結果となった。労務費がやや高いことは賃金の高いこととも解釈されるので、この推定結果のもたらされた背景につ

⁹ ロジャース(1997)の挙げた普及要因のうち、可視性は推定された係数の符号が予想に反するものとなっているので、今後さらなる調査や検討が必要である。

いても今後詳しい調査が必要である。

表 4 投入関数の計測結果

	従業者数 (対数)	資本(対 数)	ソフト ウェア (対数)	情報処理 経費+通 信費(対数)	労務費 (対数)	材料費 (対数)
売上(対数)	0.407 (0.038) ***	0.736 (0.097) ***	0.725 (0.192) ***	0.432 (0.123) ***	0.797 (0.040) ***	0.980 (0.062) ***
技術類型	0.025 (0.031)	0.139 (0.101)	0.182 (0.241)	-0.041 (0.093)	0.105 (0.045) **	-0.021 (0.055)
定数項	-1.060 (0.353) ***	1.391 (0.890)	-3.501 (1.757) *	-0.082 (1.216)	0.009 (0.394)	-1.762 (0.577) ***
観測数	542	101	20	71	231	231
Adj R-squared	0.308	0.421	0.424	0.261	0.577	0.563

※資本は、土地を除く有形固定資産+無形固定資産

括弧内は標準誤差, *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

付表 4 で(3)式にさらに営農類型を説明変数として加えた場合、従業者数について技術類型の係数が正の有意な値となり、より高度な後期型のスマート農業技術を採用することは、従業者数を押し上げる効果を持つことが示唆された。特に従業者数と材料費の投入関数に営農類型に係る有意な係数が多く表れ、従業者数や材料費の平均値(期待値)が営農類型によって異なることが確認できる。付表 5 で(3)式の技術類型の序数の代わりに SAKL 技術マップのセルの位置を示す 1~16 の序数を投入した場合の結果を見ると、従業者数の投入関数において SAKL 技術マップのセルの位置に係る係数に相対的に多くの有意な結果がみられる。M(0,3), M(1,2), M(1,3), M(2,1)である場合には平均的に従業者数が押し下げられる傾向であり、M(2,2), M(3,1)の場合には逆の傾向である。見える化レベルが高なくても、スマート農業技術の採用は従業者の省力化に効果を持つ一方、見える化レベルだけが高いことは従業者の省力化にはならないという結果である。

以上計量分析結果をまとめると、まず実態調査に基づく順序プロビット分析から、スマート農業のアドバイスや情報提供に関するリテラシーは、スマート農業技術の採用を進める要因であることが分かった。ロジャース(1997)の挙げた普及要因のうち、比較優位、適合性、わかりやすさ、試用可能性はその欠如がスマート農業技術の採用阻害要因であることが示された。KPI の 5 項目のうち生産容量の改善を目指す場合、営農類型がその他耕種の場合と比べて稲作と畑作である場合、売上高が大きい場合、経営課題として税制と六次産業化をあげている場合に、より後期型のスマート農業技術を採用するようになるという結果であった。次に個別調査に基づく要素投入関数の推定結果から、どの投入要素についても売上高

の増加に対して、要素投入に規模効果が働くということが示された。特に、従業者数と情報処理経費+通信費には大きな規模効果が働く。従業者数の投入関数の SAKL 技術マップのセルの位置を示す 1~16 の序数によるシフト効果を見ると、見える化レベルが高なくても、スマート農業技術の採用は従業者の省力化に効果を持つ一方、見える化レベルだけが高いことは従業者の従業者の省力化にはならないという結果が見受けられた。

7. おわりに

本研究では、日本農業法人協会の協力を得て、スマート農業の実情調査(実態調査と個別調査)を行った。調査結果の分析に当たって本研究では、スマート農業のための SAKL 技術マップを提案し、その枠組みに基づいて分析を行った。これは製造業における現場の IT 化を推進するための SMK 技術マップ(藤島, 2021)の応用であり、縦軸に見える化レベルで、横軸を初期型から後期型のスマート農業技術類型で区分した 16 のマス目で表された技術マップである。

まず、実態調査に基づいて SAKL 技術マップの横軸方向の分類である技術類型別に観測事実をまとめた。その結果、64%が初期型から後期型の何らかのスマート農業技術を導入しており、営農類型別には稲作で技術導入が進んでいた。何らかのスマート技術を導入している場合には、スマート技術を未使用のケースに対して 2019 年は前年に対して増収と答えている比率が高くなる。全体的にみて農業法人にとっての大きな経営課題は労働力、資材コスト、生産物価格であるが、初期型技術採用法人は労働力と生産物価格を、後期型技術採用法人は基盤整備と資材コストを経営課題と考えるケースの比率が相対的に高いという違いがみられる。スマート農業技術を利用している法人に対して、KPI の改善目標別に、技術導入の目的意識と導入結果について尋ねたところ、スマート農業技術導入以前に KPI の改善目標が意識されていたわけではない場合にも、技術導入の結果、目標は改善されていることが分かった。いずれのスマート農業技術も利用していない法人にとって、技術導入を妨げている一番大きな要因は、技術の現状への適合性であることが分かった。

次に、個別調査に基づいて SAKL 技術マップの縦軸方向の分類である見える化レベル別に観測事実をまとめた。その結果、40%の法人がデータを収集し目視で分析しており、収集しない、収集のみ、収集して ICT で分析しているケースがそれぞれ約 20%ずつという状況であった。見える化レベルの高い法人は中・後期型技術を採用している比率が相対的に高い一方、中・後期型技術採用法人には見える化レベルが低い法人の比率も相対的に高かった。スマート農業機器が自動でデータを収集し、自動で最適化まで実施していれば、経営者自身がデータの収集・分析を意識しなくても、最適化が実施される可能性が考えられた。見える化レベルの高い法人は 2018 年に対して 2019 年が増収と答えた比率が相対的に高いが、見える化レベルが低くても増収のケースがある。見える化レベルが高い場合に、スマート農業技術導入の結果、KPI の目標は確実に改善されていることが読み取れた。

SAKL 技術マップの集計結果を見ると、技術類型も見える化レベルもともにゼロである

ケース(M(0,0))と、どちらのレベルもやや高いケース(M(2,2))に件数のピークがあり、M(0,3) や M(3,0)というように見える化と技術類型の立ち位置が著しくアンバランスのケースもある。

技術類型も見える化レベルもともに高い SAKL 技術マップ右上に位置する法人について、営農類型は半数が稲作であり、2018 年に対する 2019 年の売り上げは増収である場合が多い。当てはまる経営課題では、労働力、生産物価格、資材コストに続き、基盤整備があげられている。スマート農業を実践している大規模稲作経営者へのヒアリングによると、自動運転のスマート農機を活用するためには農地の改変(畔を取り払う等)が必要になるということであったが、その状況が伺える。特に技術類型 3 の法人は効率性、生産容量、労働環境の改善に大きな目的意識をもってスマート化に取り組んでいる。SAKL 技術マップ右上に位置する法人の多くがスマート化の結果は効率性、生産容量、労働環境、保守管理の KPI の改善状況进行评估していることが分かった。ただし製品品質の改善については、あまり認識されていなかった。

計量分析結果をまとめると、まず実態調査に基づく順序プロビット分析から、スマート農業のアドバイスや情報提供に関するリテラシーが、スマート農業技術の採用を進める要因であった。ロジャース(1997)の挙げた普及要因のうち、比較優位、適合性、わかりやすさ、試用可能性はその欠如がスマート農業技術の採用阻害要因である。KPI の 5 項目のうち生産容量の改善を目指す場合、営農類型がその他耕種の場合と比べて稲作と畑作である場合、売上高が大きい場合、経営課題として税制と六次産業化をあげている場合に、より後期型のスマート農業技術を採用するようになるという結果であった。個別調査に基づく要素投入関数の推定結果からは、どの投入要素についても売上高の増加に対して、要素投入に規模効果が働くということが示された。従業者数の投入関数の計測結果から、見える化レベルが高くなくてもスマート農業技術の採用により従業者の省力化に効果がある一方、見える化レベルだけ高くても従業者の省力化にはならないという結果が見受けられた。

本研究で行ったアンケート調査は全ての営農類型をまたぐ調査であり、サンプルサイズも小さいことから、上述の調査結果にみられた事実が、普遍的なスマート農業の性質であるかどうかは、今後より詳しい事例調査等に基づいて精査する必要がある。本研究の範囲内ではあるが、中・後期型の技術の採用と見える化レベルの向上は、効率性、生産容量、労働環境、保守管理の改善に効果を持ち、増収効果も持っている。技術類型と見える化の同時レベルアップは、KPI に正の効果を持ちうるが、見える化のレベルアップがなくても技術類型の中・後期型化により、目標改善が見込まれるケースもある。ただし現状では、大まかに言って 5 割弱のケースでどちらの取り組みも行われていない。

製造業の場合には SMKL 技術マップの右上方向の改善がより高度な生産プロセスをもたらすと考えることができ、技術マップの右上への移行を目指すことがスマートな経営の方向性であると考えられる。一方、農業の場合は必ずしも右上へ移行しなくても、より正確には SAKL 技術マップの底辺を横滑りするだけでも(見える化レベルが低いままでより後期型

のスマート農業技術を採用するだけでも)、目標改善が見込めそうである。

これらを踏まえて、本研究から得た農業におけるスマート化の実現可能性の高い道筋は次のようなプロセスである。

- 1) 売上高が大きい、スマート農業のアドバイスを受ける機会がある、情報リテラシーが高く、スマート化に一定の理解があるなどの背景の下で、見える化と技術類型のレベルを自ら高めていこうとする法人をバックアップしてスマート農業技術の導入を進める。
- 2) 1)を進めつつ、様々なデータ収集を蓄積することでスマート技術を精緻化するとともに、技術の標準化とパッケージ化を進める。パッケージ化した技術を導入してデフォルトの設定値で運転すれば、経営者の情報リテラシーの程度に頼ることなく、ある程度の効率改善は達成できそうな、技術パッケージを開発する。
- 3) 2)の技術を普及させる戦略(補助金、デモンストレーション、土地の所有などに関する制度改革、農機のシェアリング、経営者や農機のオペレーターの教育、等)を推進する。

令和元年度より国のプロジェクトとして「スマート農業実証プロジェクト」実施され、ロボット、AI、IoTなど先端技術を活用した「スマート農業」を実証し、スマート農業の社会実装を加速させていくことを目的に、全国179地区において実証が行われている¹⁰ということであるが、これは1)の段階のプロセスが進行している状況と考えられる。今後は1)の先行事例を一般化するために2)、3)のプロセスへの進展について考察が必要と考えられるが、そのために実施すべき研究課題は以下のとおりである。

まず、2)について、「技術の標準化とパッケージ化」の具体的内容について考察する必要がある。例えば、後期型技術であるスマートコンバインは、収穫という作業プロセスの効率化と同時に、食味・収量センサを搭載しており圃場の位置情報と組み合わせて食味・収量マップを作成して翌年の圃場改善にきめ細かい情報提供を行うパッケージ技術であると考えられる¹¹。この場合、情報の収集や分析は収穫作業に一体化されていて、担い手が意識してデータの収集や分析を行う必要がない。こうした技術の進展状況は、アンケート調査結果からも伺えた。そこで、「技術の標準化とパッケージ化」はどのように行われるべきか、農業の現場に真に役立つ技術のパッケージ化は具体的にはどのようなものか、について考察される必要がある。そのためには、農機メーカーにおける農機開発実態や先進取り組み事例の詳しい調査研究が必要であろう。そしてその際、製造業のプロセス改善にしばしば活用されている生産管理論を応用した概念整理を行うことで、調査結果を統一的にまとめ、スマート化による改善実態の事例間比較を、合理性をもって行うことが有効だと考える。本研究の今後の展開はこのような研究を行うことであり、さらにその結果を踏まえ、3)の技術普及戦略

¹⁰ 農林水産技術会議ウェブページ

https://www.affrc.maff.go.jp/docs/smart_agri_pro/smart_agri_pro.htm

¹¹ (株)クボタウェブページ <https://agriculture.kubota.co.jp/product/combine/dr6130a/>

について考察することである。それにより、スマート農業の普及による農業の生産性向上に貢献することを目指す。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金(課題番号 JP21H03676, JP19KT0037, JP20K22139), 早稲田大学特定課題研究助成費(2021C-263), 環境省・(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20202008)の下で実施した。

また、ヒアリングに応じて下さった(有)横田農場代表 横田修一氏, および, アンケートの実施にご協力くださった公益社団法人 日本農業法人協会に御礼を申し上げる。

参考文献

- [1] Nakano, S. and Washizu, A., 2018, " Induced Effects of Smart Food/Agri-Systems in Japan: Towards a Structural Analysis of Information Technology", Telecommunications Policy, 42(10), 824-835,
<https://doi.org/10.1016/j.telpol.2018.08.001>
- [2] 南石晃明編著, 2019, 稲作スマート農業の実践と次世代経営の展望, 養賢堂
- [3] 鷺津 明由, 中野 諭, 2020, 『日本における ICT を活用したスマート農業の実態把握に向けたパイロット・スタディ』早稲田大学 先端社会科学研究所ワーキングペーパー, IASS WP 2020-J001,1-27,
https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2020/04/washizu_nakano_-2020_J001.pdf
- [4] 藤島 光城, 2020, IoT 導入レベル"SMKL"適用によるスマート工場の実現推進と産業用 IoT 製品の開発&販売促進, 三菱電機技報 94(4), 211-214,
<https://www.giho.mitsubishielectric.co.jp/giho/pdf/2020/2004103.pdf>
- [5] 鍋野 敬一郎, 2019, スマートマニュファクチャリングの実現#03「製造業の経営と製造現場をつなぐデジタルイノベーションの実践」https://www.hitachi-solutions.co.jp/smart-manufacturing/sp/column/detail1_3/
- [6] E.M.ロジャーズ, 1997, 『イノベーション普及学』

付表 1 2020 全国農業法人実態調査（問 21~25）：調査票

貴法人のスマート農業への取り組みについてお聞かせください。（本調査を通じて「スマート」とは情報通信技術(ICT)、自動化技術、ロボット技術を活用した高性能技術のことを意味しています。

問 21 スマート農業に関連して、国、県、農協、研究機関、メーカー等の主催する技術交流会等に参加したり、彼らの訪問を受けたり、アドバイスを受けたりすることがありますか。

1. ある(年に 回程度)
2. ない

問 22 採用しているスマート農業技術に○をつけてください(いくつでも)。

1. スマートトラクタ
2. スマート田植機
3. 水管理システム、灌水・散水システム
4. 施肥の調節、自動化のための先進機器
5. スマート収穫機(スマートコンバイン)
6. 農薬・肥料散布のための先進機器(空中散布、地上散布)
7. センシング機器(空撮、衛星、フィールドサーバ)、カメラ、発情検知器等の先進監視機器
8. 作業プロセスをアシストする先進機器(ロボット、ラジコン草刈り機、アシストスーツ、梱包機、剪定機、自動給餌機等)
9. 生産プロセスの管理支援システム(栽培・作業・環境制御・搬送・選果・制御貯蔵等のシステム、混合飼料システム、牛の健康管理のためのシステム 等)
10. 経営や出荷の管理支援システム(市場データ等の収集、収穫予測システム、受注管理システム、出荷支援システム 等)
11. 生産プロセスの管理支援システムと経営や出荷の管理支援システムのシステム間連携
12. その他(具体的に)
13. スマート農業技術を採用していない。⇒ 問 24 にお進みください。

問 23 問 22 で 1.~12.に○をつけられた方にお尋ねします。

問 23-1 問 22 の技術を導入するのに国、県、研究機関などの交付する補助金を利用しましたか。

1. 過去に利用したことがある、または現在利用している、または次年度の利用が内定している。
2. 利用したことはないが近い将来利用を検討
3. 利用したことはない

問 23-2 問 22 の技術を導入された目的についてお答えください。(いくつでも)

1. 労働時間や作業の工数を削減するため
2. 作業負荷の軽減や労働の快適化のため
3. 収量や収益，土地利用率の向上のため
4. 生産費(原料資材投入費用)の削減のため
5. 付加価値向上のため(食味の向上，販売単価の向上，等)
6. 栽培管理，肥培管理，水管理，給餌システム等の生産・工程管理の最適化のため
7. 生産費用や財務にかかわるデータ管理など経営管理の最適化のため
8. 規模拡大のため
9. 非熟練者の育成のため
10. 労働力不足の解消のため
11. 農機のシェアリング，栽培管理サービスの利用など新 IT ビジネス利用のため
12. 事業分野の拡大のため
13. その他()

問 23-3 問 22 の技術を導入した結果について次の質問にお答えください。

作業の効率化や労働環境の改善がありましたか

利益率の改善につながりましたか。

新規就労者や若者の就労などがありましたか

地域の協力関係が強化されましたか。

新規事業機会が創出されましたか。

(1. はい 2. いいえ 3. どちらともいえないから選択)

問 23-4 問 22 の技術のうち利用してよかったと思う理由をお答えください(いくつでも)。

1. 作業スピードが向上した。
2. 生産コストが低減した。
3. 作業・工程の簡素化・省力化を達成することができた。
4. 新規事業の拡大や、規模の拡大を実現することができた。
5. 品質の向上や付加価値を上げるための工夫を実現することができた。
6. その他()

問 23-5 問 22 の技術の改善してほしい点について教えてください(いくつでも)。

1. 提供されるデータが過剰である。
2. 技術の性能が十分ではない。
3. 技術の内容が現場の実情に合っていない。
4. 得られる成果のわりにコストが高い。
5. メンテナンスサービスや機能の解説など気軽に相談できる窓口があるとよい。
6. 専門家の知識を現場に応用するためのコンサルタントサービスがあるとよい。
7. スマート農業のサービスそれ自体を代行してくれるサービスが必要だ。
8. その他()

問 23-6 問 23-5 で、5.～7.に○をつけられた方にお伺いします。そういうサービスを提供するための事業所は、貴住所からおおむねどのくらいの距離にあるとよいと思いますか。

1. 同一集落内

2. 同一市区町村内
3. 同一県内
4. 隣県程度
5. ネットがつながっていれば場所はあまり関係ない
6. その他() ⇒問 25 にお進みください。

問 24 問 22 で 13.に○をつけられた方にお尋ねします。

スマート農業技術を導入されない理由についてお答えください。(いくつでも)

1. 初期投資が高額だから
2. コンピュータや高性能な機械を働き手が操作できないから
3. 機器の性能が不十分または不確かだから
4. 周囲の人々がスマート農業に否定的だから
5. 作業現場の実情に合っていないから
6. どのように導入したらよいかわからないから
7. インターネットの接続環境が悪いから
8. データの収集または入力が面倒だから
9. 技術の習得に時間がかかる, または面倒だから
10. IT 技術を適切使うための知識が不確かであり, 失敗すると大変だから
11. スマート農業を取り入れても収益は見込めないから
12. スマート農業を取り入れても美味しい農作物が作れるか疑わしいから
13. その他() ⇒問 25 にお進みください。

問 25 全ての方にお伺いします。問 22 の技術は情報通信技術(ICT)を活用していますが、貴法人に関する情報を、適切な同意のもとに必要な安全措置を講じたうえで、次の目的で第三者に提供することについてお考えをお聞かせください。

貴法人の農機制御技術、営農計画支援機能、生育モデルの精度の向上等のため
 社会全体の農機制御技術、営農計画支援機能、生育モデルの精度の向上等のため
 地域の技術力向上や技能継承のため
 物流・商流システムの精度向上のため
 生産情報と物流・商流情報の連携のため
 異業種と連携した新規事業展開のため
 教育・研究等学問の発展に役立てるため

(1. 提供してもよい 2. 提供したくない 3. わからないから選択)

付表 2 スマート農業の実態調査(個別調査)：調査票

1. 採用しているスマート農業技術導入の有無に○をつけ導入年(西暦)をお答えください。

スマートトラクタ

スマート田植機

水管理システム, 灌水・散水システム

施肥の調節, 自動化のための先進機器

スマート収穫機(スマートコンバイン)

農薬・肥料散布のための先進機器(空中散布, 地上散布)

センシング機器(空撮, フィールドサーバ), カメラ, 発情検知器等の先進監視機器

作業プロセスをアシストする先進機器(ロボット, ラジコン草刈り機, アシストスーツ, 梱包機, 剪定機, 自動給餌機等)

生産プロセスの管理支援システム(栽培・作業・環境制御・搬送・選果・制御貯蔵等のシステム, 混合飼料システム, 牛の健康管理のためのシステム 等)

経営や出荷の管理支援システム(市場データ等の収集, 収穫予測システム, 受注管理システム, 出荷支援システム 等)

「生産プロセス」と「経営や出荷」の各管理支援システムのシステム間連携

その他診断事業(具体的に)

2. 貴法人のデータの活用状況をお聞かせください。

1 管理に必要なデータを収集していない

2 管理に必要なデータを収集している

3 管理に必要なデータを収集し, 目で見て比較するなど分析している

4 管理に必要なデータを収集し, ICT を活用して分析している

3. 貴法人の直近 5 年間(2015 年度～2019 年度)の状況をお聞かせください。

年間売上高(万円)

営業利益(万円)

材料費(万円)

労務費(万円)

製造経費(万円)

販売費および一般管理費(万円)

従業者(役員, 正社員, 常勤パート)

4. 2019 年度について資産および情報通信費の状況をお聞かせください。

情報処理経費+通信費 ¹⁾

有形固定資産

うち 土地

無形固定資産

うち ソフトウェア

有形(土地を除く)・無形固定資産の当期取得額 ²⁾

うち 情報化投資 ³⁾

1)情報処理経費＋通信費には「PC やモバイルによる情報処理やデータ通信等の情報処理費用」と「電話、郵便等の通信費」の合計金額を記入してください。前者には、導入諸掛り、リース・レンタル料、保守料、回線使用料、ソフトウェア委託料及び購買費、パンチ委託料、計算委託料、オンラインサービス料等を含みます。

2)有形・無形資産の当期取得額に減価償却費を含めないで下さい。

3)情報化投資には、複写機、レジスタ等の事務機械、ディスプレイヤー等の電気音響機器、PC、モバイル機器などの ICT 機器の購入費用、ソフトウェアの購入やシステムの構築費用などを記入してください。

5. 2019 年度について

従業者(役員、正社員、常勤パート)の構成をお聞かせください。

従業者(10～30 歳代、30～50 歳代、60 歳代以上)の構成をお聞かせください。

6. 2019 年度について従業者(役員、正社員、常勤パート)のうち、各プロセス(生産、販売、経理) で ICT に関わる業務(操作や保守 等)をされている人数をお聞かせください。もし一人の方が ICT に関わる業務と他の業務を兼務されている場合には、その方を 0.5 人とカウントしてください。

付表 3 順序プロビット分析の結果

第2段階：どの技術類型を選択するか			第1段階：技術を導入するか否か		
KPI指標	目的意識	効率性	生産1位	営農類型	①稲作
	製品品質	0.135 (0.174)			②畑作
	生産容量	0.314 (0.262)			③露地野菜
	労働環境	0.371 (0.155) **			④施設野菜
	保守管理	0.044 (0.174)			⑤工芸農作物
生産1位	営農類型	-0.307 (0.155) **			⑥果樹
	①稲作	0.681 (0.272) **			⑦露地花き
	②畑作	1.078 (0.637) *			⑧施設花き
	③露地野菜	-0.221 (0.325)			⑨きのこ
	④施設野菜	0.548 (0.350)			⑩その他耕種
	⑤工芸農作物	0.913 (0.716)			⑪酪農
	⑥果樹	-0.422 (0.396)			⑫肉用牛
	⑦露地花き	-0.172 (0.442)			⑬養豚
	⑧施設花き	0.358 (0.562)			⑭採卵鶏
	⑨きのこ	-0.010 (0.416)			⑮ブロイラー
	⑩その他耕種				⑯その他畜産
	⑪酪農	-1.134 (0.339) ***			売上高(万円)
	⑫肉用牛	-0.735 (0.417) *			売上の増減
	⑬養豚	-0.541 (0.447)			役員、正社員、常勤パート(人)
	⑭採卵鶏	-0.277 (0.627)			正社員の平均年代
	⑮ブロイラー	-0.668 (0.906)			現在の経営課題
	⑯その他畜産	-0.336 (0.370)			①労働力
	売上高(万円)	0.00000004 (0.000) ***			②農地制度
	売上の増減	-0.060 (0.101)			③基盤整備
	役員、正社員、常勤パート(人)	0.003 (0.002)			④資金調達
	正社員の平均年代	0.000 (0.007)			⑤資材コスト
現在の経営課題	①労働力	-0.274 (0.160) *			⑥流通コスト
	②農地制度	0.323 (0.243)			⑦生産物価格
	③基盤整備	-0.058 (0.192)			⑧国内販路開拓
	④資金調達	-0.037 (0.220)			⑨技術開発
	⑤資材コスト	-0.029 (0.169)			⑩税制
	⑥流通コスト	-0.076 (0.205)			⑪六次産業化
	⑦生産物価格	-0.176 (0.171)			⑫輸出
	⑧国内販路開拓	0.096 (0.259)			⑬安全・安心
	⑨技術開発	0.021 (0.210)			⑭セーフティネット
	⑩税制	0.486 (0.263) *			⑮その他
	⑪六次産業化	0.544 (0.248) **			スマート農業のアドバイス
	⑫輸出	-0.017 (0.305)			補助金
	⑬安全・安心	0.229 (0.273)			情報提供
	⑭セーフティネット	0.154 (0.351)			否定要因として疑念比較優位
	⑮その他	-0.268 (0.545)			適合性
	スマート農業のアドバイス	0.263 (0.172)			わかりやすさ
	補助金	0.214 (0.145)			試用可能性
	情報提供	-0.002 (0.020)			可視性
					定数項
観測数	498		rho	0.301	
Log pseudolikelihood	-358.6288		Ho: rho=0		
			chi2(1)	4.02	
			Prob > chi2	0.045	

括弧内は標準誤差, *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

付表 4 投入関数の計測結果(営農類型を説明変数に加えたケース)

	従業者数 (対数)	資本(対 数)	ソフト ウェア (対数)	情報処理 経費+通 信費(対数)	労務費 (対数)	材料費 (対数)
売上(対数)	0.415 (0.124) ***	0.761 (0.122) ***	0.426 (0.372)	0.414 (0.205) **	0.827 (0.114) ***	0.929 (0.081) ***
技術類型	0.126 (0.071) *	0.161 (0.161)	-0.082 (0.145)	-0.085 (0.140)	0.080 (0.108)	0.054 (0.128)
①稲作	-0.944 (0.151) ***	-0.367 (0.299)	2.808 (0.953) **	0.319 (1.427)	0.269 (0.362)	-1.132 (0.237) ***
②畑作	-0.946 (0.237) ***	-0.423 (0.229) *	1.923 (1.214)	0.205 (1.406)	0.468 (0.428)	-2.086 (0.630) ***
③露地野菜	-0.685 (0.196) ***	-0.022 (0.343)	3.031 (1.690)	0.598 (1.421)	0.368 (0.603)	-1.977 (0.807) **
④施設野菜	-0.501 (0.306)	-0.274 (0.365)		0.060 (1.402)	0.962 (0.271) ***	-1.215 (0.265) ***
⑤工芸農作物	-1.292 (0.099) ***	-0.590 (0.166) ***		-0.697 (1.214)	-0.146 (0.241)	-1.659 (0.293) ***
⑥果樹	-0.613 (0.245) **	0.175 (0.454)	1.774 (1.695)	1.018 (1.342)	0.360 (0.549)	-1.578 (0.276) ***
⑦露地花き						
⑧施設花き	-0.720 (0.285) **	-0.946 (0.274) ***	4.783 (1.883) **	0.668 (1.178)	0.168 (0.474)	0.045 (0.311)
⑨きのこ	-0.397 (0.022) ***	0.204 (0.186)	-0.003 (1.449)	1.153 (1.299)	1.162 (0.266) ***	-1.463 (0.312) ***
⑩その他耕種		-1.106 (0.174) ***		-0.095 (1.336)		
⑪酪農	-1.177 (0.244) ***	1.103 (0.365) ***	1.563 (1.680)	1.333 (1.150)		
⑫肉用牛	-1.273 (0.236) ***	-1.217 (1.091)		-0.075 (1.364)		
⑬養豚	-1.876 (0.136) ***	0.172 (0.266)				
⑭採卵鶏	-0.403 (0.332)			1.438 (1.431)	0.300 (0.243)	-0.298 (0.230)
⑮ブロイラー	-0.182 (0.807)	-1.981 (0.891) **				
⑯その他畜産						
定数項	-0.533 (1.164)	1.399 (1.070)	-2.469 (2.121)	-0.106 (3.262)	-0.733 (1.262)	-0.174 (0.994)
観測数	99	87	17	64	42	43
Adj R-squared	0.428	0.399	0.587	0.183	0.542	0.652

※資本は、土地を除く有形固定資産+無形固定資産

括弧内は標準誤差, *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

付表 5 投入関数の計測結果(SAKL 技術マップのセル位置を説明変数に加えたケース)

	従業者数 (対数)	資本(対 数)	ソフト ウェア (対数)	情報処理 経費+通 信費(対数)	労務費 (対数)	材料費 (対数)
売上(対数)	0.382 (0.038) ***	0.748 (0.118) ***	0.896 (0.215) ***	0.412 (0.126) ***	0.819 (0.040) ***	0.950 (0.069) ***
1_M(0,0)						
2_M(0,1)						
3_M(0,2)	-0.216 (0.234)	0.993 (0.196) ***		-1.021 (0.175) ***	0.400 (0.116) ***	-1.347 (1.922)
4_M(0,3)	-0.809 (0.056) ***	-0.857 (0.174) ***				
5_M(1,0)						
6_M(1,1)						
7_M(1,2)	-0.631 (0.118) ***	0.597 (0.178) ***		-1.492 (0.208) ***	-1.040 (0.218) ***	-1.271 (0.144) ***
8_M(1,3)	-0.357 (0.116) ***	0.215 (0.371)	0.120 (0.352)	-0.436 (0.600)	0.238 (0.195)	0.426 (0.140) ***
9_M(2,0)						
10_M(2,1)	-0.264 (0.082) ***	0.363 (0.275)		0.583 (0.464)	-0.190 (0.121)	0.724 (0.183) ***
11_M(2,2)	0.446 (0.108) ***	0.012 (0.391)	-0.669 (1.002)	0.282 (0.353)	0.121 (0.190)	0.451 (0.140) ***
12_M(2,3)	0.008 (0.131)	0.184 (0.396)		-0.010 (0.437)	0.190 (0.146)	-0.047 (0.136)
13_M(3,0)						
14_M(3,1)	0.983 (0.065) ***	2.056 (0.234) ***	-1.136 (0.495) **		0.874 (0.095) ***	-0.112 (0.148)
15_M(3,2)	-0.171 (0.123)	0.048 (1.103)	-0.883 (0.852)	0.046 (0.719)	-0.943 (0.243) ***	-0.550 (0.587)
16_M(3,3)	0.058 (0.069)	0.527 (0.377)		-0.136 (0.483)	0.448 (0.182) **	-0.340 (0.265)
定数項	-0.827 (0.358) **	1.369 (1.104)	-4.595 (1.947) **	0.052 (1.273)	-0.115 (0.411)	-1.478 (0.656) **
観測数	542	101	20	71	231	231
Adj R-squared	0.348	0.387	0.363	0.248	0.615	0.601

※資本は、土地を除く有形固定資産+無形固定資産

括弧内は標準誤差, *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

SAKL技術マップのセルの位置は、それぞれ対応する1~16の序数で回帰式に投入される。