

稲作法人経営における技能向上・技術導入効果に関する研究：作業の省力化に焦点を当てて

馬場，研太

<https://hdl.handle.net/2324/6787675>

出版情報：Kyushu University, 2022, 博士（農学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：



稲作法人経営における技能向上・技術導入効果
に関する研究

—作業の省力化に焦点を当てて—

馬場 研太

2023



稲作法人経営における技能向上・技術導入効果
に関する研究
—作業の省力化に焦点を当てて—

馬場 研太

九州大学大学院 生物資源環境科学府
農業資源経済学専攻 農業経営学研究室

博士（農学）請求論文

指導教員：

南石 晃明 教授

上西 良廣 助教

論文調査委員：

南石 晃明 教授（主査）

前田 幸嗣 教授（副査）

磯田 宏 教授（副査）

2023 年 3 月

論文内容の要旨

わが国の稲作は、主要産出国と比較し高い生産コストや労働力不足等の課題に直面している。これら課題の解決には、農業者が有する技能の向上・伝承や、ロボット技術に代表される省力化技術の重要性が、稲作経営の法人化・大規模化の進展等に伴いさらに高まっている。しかしながら、技能向上やロボット技術が稲作法人経営に及ぼす影響に関する研究蓄積は限られている。そこで本論文では、稲作主要作業（耕起・代かき、田植え、水管理、収穫等）の技能向上および省力化技術導入が、稲作法人経営の経営規模、労働時間および生産コストに及ぼす影響を解明することを目的とする。省力化技術は技能を技術化したものと捉えられ、その代表例としてロボット技術を取り上げる。さらに、ロボット技術の効果的な導入活用に資するため、稲作法人経営における技術の導入活用を規定する要因の解明を目的にする。

稲作法人経営における技能向上・技術導入効果については、先進大規模稲作法人経営の実績データ等を参考に構築した数理計画モデルを用いて分析した。分析シナリオとして、技能の面では、稲作主要作業（慣行技術）の能率が低い初心者を想定したシナリオや、能率が高い熟練者を想定したシナリオを設定した。また技術の面では、将来実現が想定される、稲作主要作業を完全自動化できるロボット技術を導入するシナリオを設定した。加えて、農業生産は一般的に気象の影響を受けやすく、それに起因するリスク考慮の必要性が指摘されていること等から、降雨条件に伴う作業遅延・不能リスク（作業リスク）やそのリスク選好を踏まえた分析を行った。

これらの分析により、以下の諸点を明らかにした。第一に、作業リスクに慎重な経営を想定して技能向上効果を分析した結果、初心者から熟練者への技能向上によって最適作付面積が増加し、玄米 1kg 当たり固定費が低減した結果、玄米 1kg 当たり経営費の低減に繋がることが明らかになった（第 3 章）。第二に、ロボット技術の導入効果を技能水準別に分析した結果、熟練者経営では、熟練者と同等の性能（作業時間・精度）を有するロボット技術の導入によって、作業リスクに慎重な場合は最適作付面積が変化せず、強気な場合は限定的ながら増加することが明らかになった（第 4 章）。また、リスク選好に関わらず、ロボット技術の導入によって 1 人当たり年間総労働時間が低減するものの、現在の市販機価格帯では玄米 1kg 当たり経営費が増加することが明らかになった（第 4 章）。加えて、初心者経営では同ロボット技術の導入によって、リスク選好に関わらず、最適作付面積が

増加し、1 人当たり年間総労働時間も増加することが明らかになった（第 5 章）。以上より、技能向上は規模拡大に伴う生産コスト低減に繋がること、また技能水準やリスク選好によってロボット技術の導入効果に差異が見られることが明らかになった。

さらに、稲作法人経営における自動化・ロボット技術の現在の導入活用状況を規定する要因を明らかにした（第 6 章）。この分析では、九州大学農業経営学研究室が 2019 年に実施した全国農業法人アンケートのデータにプロビット・モデルを適用した。分析の結果、以下の点が明らかになった。まず、アシスト農機および栽培自動化・ロボットに共通の導入活用要因は、非農家出身者や他産業企業が法人設立に参画していることであり、経営が有する他産業や先端技術（ICT やロボット技術等）に関連する知見・人材が技術の導入活用に影響すると考えられた。また、各自動化・ロボット技術に固有の導入活用要因も見られ、これは各技術の特性（分割可能性や価格帯等）の違いから生じていると考えられた。

以上のように、本論文では稲作主要作業の技能向上および省力化技術が、稲作法人経営に及ぼす影響と共に技術の導入活用要因を明らかにした。具体的には、作業リスクに慎重な経営を想定すると、稲作主要作業に関する技能向上が規模拡大や生産コスト低減に繋がることが明らかになった。また、強気な熟練者経営と共に初心者経営ではリスク選好によらず、ロボット技術の導入による規模拡大効果が見られることが明らかになった。加えて、熟練者経営ではリスク選好によらず労働代替効果が見られることが明らかになった。一方、慎重な熟練者経営では規模拡大効果が見られないこと、初心者経営ではリスク選好によらず労働代替効果が見られないこと、熟練者経営ではリスク選好によらず費用対効果が見られないことが明らかになった。さらに、他産業や先端技術に関連する知見・人材等が自動化・ロボット技術の導入活用に影響することが示唆された。これらの結果から、ロボット技術の導入に際しても、稲作法人経営における技能向上・人材育成が稲作課題の解決に有効と考えられる。

目次

第1章	序論.....	1
第1節	社会的背景と問題意識.....	1
第2節	本論文における主要概念.....	3
第3節	既存研究の成果と問題点.....	5
第4節	本論文の目的.....	14
第5節	本論文の分析枠組と構成.....	15
第2章	研究の方法論 ―概念整理・対象限定の観点から―.....	17
第1節	はじめに.....	17
第2節	技能・技術.....	17
第3節	数理計画法.....	34
第4節	計量経済モデル.....	42
第5節	おわりに.....	44
第3章	稲作法人経営における技能向上のコスト低減効果 ―作業リスクを考慮した数理計画法による分析―.....	45
第1節	はじめに.....	45
第2節	データおよび方法.....	45
第3節	結果および考察.....	54
第4節	おわりに.....	63
第4章	稲作法人経営におけるロボット技術の導入効果 ―作業リスク選好を考慮した数理計画法による分析―.....	64
第1節	はじめに.....	64
第2節	データおよび方法.....	64

第3節	結果および考察.....	80
第4節	おわりに	93
第5章	稲作法人経営における技能水準がロボット技術の導入効果に及ぼす影響 —作業リスク選好を考慮した数理計画法による分析—	94
第1節	はじめに	94
第2節	データおよび方法	94
第3節	結果および考察.....	97
第4節	おわりに	103
第6章	稲作法人経営における自動化・ロボット技術の導入活用要因の解明 —全国農業法人アンケートに基づいたプロビット分析—	105
第1節	はじめに	105
第2節	データおよび方法	105
第3節	結果および考察.....	115
第4節	おわりに	134
第7章	結論.....	135
第1節	各章の要約.....	135
第2節	本論文の結論	138
第3節	今後の課題.....	144
引用文献	.....	146
関連する研究業績一覧	.....	157
謝辞	.....	160
付表	.....	161

＜表目次＞

表 1-1	自動化・ロボット技術の導入効果に関する既存研究の分析視角	7
表 2-1	稲作主要作業に関する自動化・ロボット技術の概要	27
表 2-2	想定される稲作主要技能とロボット技術（要素技術）の対応関係	30
表 3-1	技能水準別の作業能率	47
表 3-2	数理計画モデルの構築データ概要	49
表 3-3	技術体系データの概要	50
表 3-4	シナリオ別の最適営農計画（一部抜粋）	55
表 4-1	ロボット技術導入を想定する稲作主要作業の概要	67
表 4-2	数理計画モデルの構築データ概要	69
表 4-3	技術体系データの概要	70
表 4-4	数理計画モデルの単体表（一部抜粋）	73
表 4-5	数理計画モデルの検証結果	75
表 4-6	自動化・ロボット技術の市販機販売価格帯	79
表 4-7	シナリオ別の最適営農計画（一部抜粋）	82
表 5-1	技能水準別作業能率の設定値	95
表 5-2	ロボット技術未導入シナリオにおける最適営農計画（一部抜粋）	98
表 5-3	作業リスク選好によるロボット技術導入効果の変化	102
表 6-1	本章で対象とする自動化・ロボット技術	106
表 6-2	プロビット・モデルの説明変数一覧	113
表 6-3	自動化・ロボット技術の現在の活用状況	115
表 6-4	各変数の基本統計量	116
表 6-5	自動化・ロボット技術の現在の活用状況と活用要因の関係	119
表 6-6	クロス集計結果の要約	121
表 6-7	各変数の相関行列	123
表 6-8	各モデルの VIF	124
表 6-9	変数増減法によるプロビット分析結果	127
表 6-10	強制投入法によるプロビット分析結果	129
表 7-1	ロボット技術の導入効果が発現する経営条件	143

付表 1	RT 導入シナリオ別の最適営農計画—熟練者（実績）・慎重シナリオ—	161
付表 2	RT 導入シナリオ別の最適営農計画—熟練者（実績）・強気シナリオ—	162
付表 3	RT 導入シナリオ別の玄米 1kg 当たり経営費と導入費用試算結果 —熟練者（実績）・慎重シナリオ—	163
付表 4	RT 導入シナリオ別の玄米 1kg 当たり経営費と導入費用試算結果 —熟練者（実績）・強気シナリオ—	164

＜図目次＞

図 1-1	技能の技術化による技能・ノウハウ・技術の区分変化.....	4
図 1-2	農作業に関連する技能とロボット技術の関係	4
図 1-3	本論文の分析枠組と章別構成	16
図 2-1	技能・ノウハウ・技術と知識の関連	18
図 2-2	農業生産活動における技能・ノウハウ・技術の一般的な関係	19
図 2-3	稲作における機械化・自動化・ロボット化と対象技術.....	25
図 2-4	稲作における技能の技術化と機械化・自動化・ロボット化の関係	29
図 2-5	稲作法人経営における営農開始後の経過年数の分布	33
図 2-6	数理計画法による技術の経営的評価の手順	35
図 2-7	稲作法人経営におけるリスク選好の分布	38
図 2-8	数理計画モデルの概念図.....	40
図 3-1	技能水準別の最適営農計画における旬別労働時間	56
図 3-2	技能水準別の最適営農計画における旬別機械作業時間.....	56
図 3-3	技能が最適作付面積に及ぼす影響.....	57
図 3-4	技能が1人当たり年間総労働時間に及ぼす影響	58
図 3-5	技能が玄米 1kg 当たり経営費に及ぼす影響	60
図 3-6	技能向上によるコスト低減効果の手法間比較	62
図 4-1	シナリオ分析の概念図	76
図 4-2	最適営農計画における旬別労働時間（一部抜粋）	83
図 4-3	最適営農計画における旬別機械作業時間（コンバイン・収穫作業を抜粋） ..	83
図 4-4	ロボット技術が最適作付面積に及ぼす影響	85
図 4-5	ロボット技術が1人当たり年間総労働時間に及ぼす影響.....	87
図 4-6	ロボット技術の費用許容額と市販価格試算値	90
図 4-7	ロボット技術が玄米 1kg 当たり経営費に及ぼす影響.....	92
図 5-1	シナリオ分析の概念図	96
図 5-2	技能水準別のロボット技術の規模拡大効果	100
図 5-3	技能水準別のロボット技術の労働代替効果	100
図 6-1	分析枠組と想定される自動化・ロボット技術の活用要因	110

図 7-1	本論文の主要な結論	139
図 7-2	各指標の関係に着目した本論文の結論	141
図 7-3	作業リスク選好に着目した本論文の結論	142

第1章 序論

第1節 社会的背景と問題意識

わが国の主食であるコメを生産する稲作は、食糧安全保障上も重要な作目である。しかし、わが国の稲作は、主要産出国（米国、韓国、イタリア等）と比較して高い生産コスト（矢口 2012、南石 2015c、2020b、農林水産省 2016a、2021b）に加え、高齢農家のリタイアや農業就業者数の減少（農林水産省 2020b）、それに伴う担い手や労働力の不足、耕作放棄（八木 2019b）等の課題に直面している。農林水産省の若手農業者向けアンケート調査（農林水産省 2018a）によると、農業経営視点においても稲作における労働力不足が課題として認識されている中、規模拡大を志向している稲作経営も多い。稲作経営は、現在の情勢から鑑みると当面の間、稲作を取り巻く諸制約の下で、生産コスト低減や労働力不足対応、経営規模拡大等が求められると予想される。持続的な稲作の実現と食糧安全保障の担保のためには、これら稲作の課題を解決する方策を検討する必要があるのではないか。具体的には、生産コスト低減や労働力不足対応等に貢献する方策を検討する必要があると考えられる。

このような状況の中、稲作を行う農業法人経営の増加もあり、稲作経営の革新が進展している（南石 2019）。また、農林業センサス（<https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/>）によると、稲作法人経営における水稻作付面積平均は 14.5ha（2015 年）から 17.1ha（2020 年）に 18%増加している。このように農業法人経営は持続的な地域農業生産基盤の維持、とりわけ地域農地の担い手として期待される。しかし、大規模化が進むと従事者の雇用が必須となり、八木・安武（2019、p.71）は水田作において「50ha を超える経営になると平均 1 人以上の常雇が雇用されて」おり、特に「企業形態の大規模層では、規模拡大の上でも、また販売収入の向上のためにも、多数の常雇の導入が不可欠」と指摘している。農業法人経営に雇用されて農業に従事する者（雇用就農者）は増加傾向にある中（農林水産省 2021a）、南石・藤井（2015a、pp.3-4）は「新規就農者の 9 割以上が農業以外の職業を経験した後には就農しており、その多くが学校（高校、専門学校、短期大学、大学校、大学等）で農業・農学系の教育訓練を受けておらず、新規就農者の多くは就農後に農業技術・技能をゼロから習得している状況」と指摘している。農業経営の持続的な発展・未来世代への伝承とは技能・技術の伝承であるといえるが（門間 2011）、農業法人経営では技能・技術

の向上や伝承が課題として表出している（南石・藤井 2015a）。つまり、稲作経営の法人化・大規模化の進展等に伴い技能・技術の重要性がさらに高まっているといえる。

経営資源の側面からみると農業生産活動の実施主体は「人的資源」であり、農業生産活動には農業者の有する技能（能力）が密接に関わっている。今般の農業技術には高度な技能や知識が求められる状況にあることが指摘されている（西村 1983）。具体的には、農業生産において安定した収量・品質を確保するためには緻密な機械操作や圃場条件、気象条件に応じた臨機応変な判断などの高度な技能や知識が要求され、今後、雇用型法人経営における生産性の向上を図る上では従業員の能力養成を通じた農業経営基盤強化の重要性が高まっていると藤井・南石（2014）は指摘している。また、農業者の有する技能の向上は作業能率の向上に繋がるということが指摘されている（宮住ら 2014）。

このように稲作法人経営における技能の重要性が高まっていることから、本論文では稲作の課題解決方策の一つとして「技能」に着目する。技能が先述の課題の解決に貢献するか否かを明らかにするためには、技能向上が稲作法人経営にどのような影響を及ぼすのか（技能向上効果）を実証的・定量的に解明する必要がある。

他方、技能の伝承（支援）方策の一つとして技能のノウハウ化・技術化がある（海野 1999、南石 2015b）。稲作主要作業に関する技能の技術化は、農業の機械化、近年ではロボット技術に代表される省力化技術に密接に関連している（詳細は後述）。稲作法人経営における技能の重要性が高まると共に、技能の技術化や省力化技術の重要性もより高まっているといえる。そこで本論文ではもう一つの課題解決方策として「技術（省力化技術）」にも着目する。省力化技術が稲作の課題解決に貢献するか否かを明らかにするためには、技能と同様に、その技術が稲作法人経営にどのような影響を及ぼすのか（技術導入効果）を実証的・定量的に解明することが求められる。その際に技能と技術が密接に関連することを考慮し、稲作法人経営における技能水準が技術導入効果に及ぼす影響も明らかにする必要があると考えられる。加えて、技能の技術化による技能伝承を図る場合、その技術の効果的な導入活用に資する知見を得ることが重要であり、そのためには技術の導入活用を規定する要因（技術の導入活用要因）を明らかにする必要があると考えられる。

本論文では省力化技術の代表例として、技能と関連が深いロボット技術を取り上げる。ロボット技術は、近年注目されているスマート農業の要素技術の一つであり、初心者でも熟練者水準の作業が可能となることが期待されている（農林水産省 2020e、野口 2019a）。また、わが国農業の課題解決のため、ロボット技術等を活用した農林水産業の省力化・完

全自動化を目指した国家プロジェクトが推進される等（例えば、内閣府 2018）、作業自動化によりこれまでにない大規模・低コスト生産の実現を目指して研究開発されている（野口 2019a）。

以上より、わが国の稲作は、主要産出国と比較し高い生産コストや労働力不足等の課題に直面している。これら課題の解決には、農業者が有する技能の向上・伝承や、ロボット技術に代表される省力化技術の重要性が、稲作経営の法人化・大規模化の進展等に伴いさらに高まっている。そこで本論文では、稲作課題の解決方策として、農業生産活動の実施主体である農業者が有する「技能」やその伝承方策としての「技術（省力化技術）」に着目する。そして、稲作主要作業（耕起・代かき、田植え、水管理、収穫等）の技能向上および省力化技術導入が、稲作法人経営の経営規模、労働時間および生産コストに及ぼす影響を定量的・実証的に分析する。省力化技術は技能を技術化したものと捉えられ、その代表例としてロボット技術を取り上げる。さらに、ロボット技術の効果的な導入活用に資するため、稲作法人経営における技術導入活用を規定する要因を分析する。

第 2 節 本論文における主要概念

本論文で着目する技能と技術について、その定義を述べる。なお、詳細については第 2 章で後述する。

本論文では、技能・技術に関する定義を南石（2015a、p.24）に依拠する。技能は「意図した結果が無意識のうちに得られるように心身が働く自動化された能力」である。また技能は感覚・運動系技能（体の技能）と判断・計画・管理系技能（脳の技能）に大別できる。技術は「意図したように物事をたくみに行う方法であり知識の一種」である。関連してノウハウは「技術を用いて意図した結果を得るために役立つ、技術の実施に関する知識」である。

また、本論文では農作業に関する技能の技術化に着目する。技能の技術化について明確に定義した既存研究は見当たらないが、本論文では「技能を技術に変換・置き換えること」とする（図 1-1）。ただし、農業においては技能とノウハウの区別が曖昧な可能性がある（南石 2015b）ため、技術化する技能にはノウハウの一部も含み、関連するノウハウも同時に技術化されると考えられる。

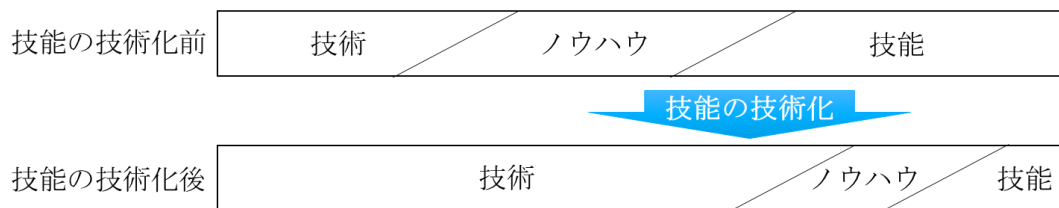


図 1-1 技能の技術化による技能・ノウハウ・技術の区分変化

資料：南石（2015b、p.46、図 3-1）を参考に筆者作成。

本論文では、農作業に関する技能の技術化を機械化・自動化・ロボット化で捉える。具体的には、農業者の有する農作業（人力）の技能を技術化（機械化）したものが機械と捉えられる。また、一定の操作が必要なものの特定作業を自動化した機械を自動化技術とし、自動化技術の操作技能を技術化し、作業・操作ともに自動化（ロボット化）した機械をロボット技術とする。換言すると、本論文におけるロボット技術は、対象とする農作業について関連する技能を技術化し、目的の作業・操作を農業者にかわり自動的に行う機械である（図 1-2）。なお詳細は第 2 章で後述するが、現在のスマート農業の要素技術には自動化技術が多く含まれるため、本論文ではスマート農業の要素技術である自動化技術とロボット技術を総称して「自動化・ロボット技術」とする。

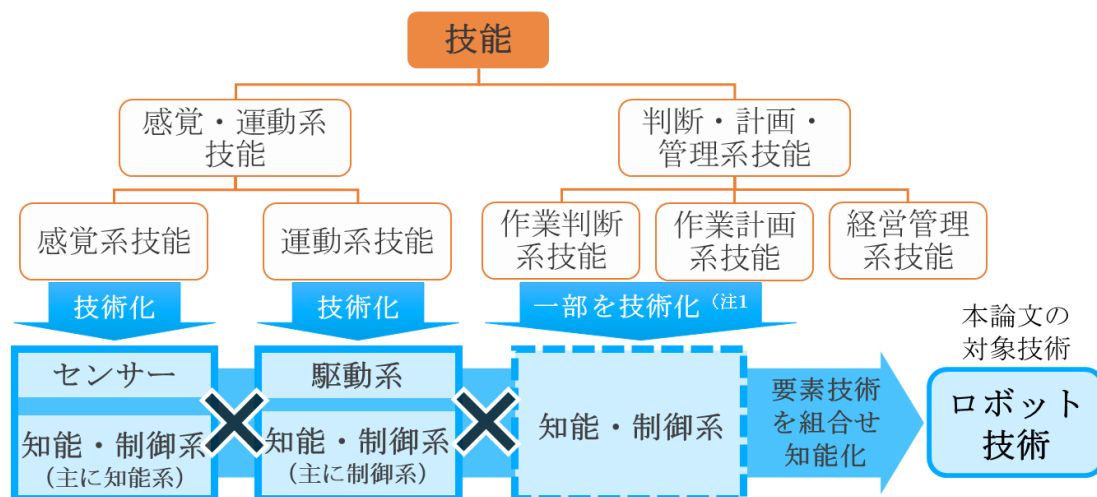


図 1-2 農作業に関連する技能とロボット技術の関係

資料：技能区分は南石（2015a、p.29、図 2-4）より抜粋し、ロボット政策研究会（2006）等を参考に、筆者が加工作成。

注 1：本論文で想定するロボット技術（その要素技術である知能・制御系技術）では、作業判断・計画系技能の一部の技術化に留まると考えられる。

第3節 既存研究の成果と問題点

ここでは、本論文で対象とする技能と技術が農業経営に及ぼす影響に関する既存研究と、技術の導入活用を規定する要因に関する既存研究をレビューする。これによって、既存研究の成果と問題点を示す。

1. 技能が農業経営に及ぼす影響に関する既存研究

技能が農業経営に及ぼす影響（技能向上効果）に関する既存研究は限定的であり、茅根・木村（2009）や松倉ら（2015）、武藤（2017）が見られた。

茅根・木村（2009）は、水田作経営の経営成長・発展段階ごとの経営構造から生産性向上が生産コスト低減および収益向上に及ぼす影響を明らかにしている。労働生産性は「高い作業能力」と「高い実作業率を実現できる作業構造」によってもたらされるとし、作業能力として大型機械とそれを操作できる技能の優れたオペレータの存在に着目している。分析の結果、家族労働力段階から臨時オペレータ、常雇オペレータ利用に経営構造が展開することで、生産・販売量の拡大と生産効率の両面を追求できる経営構造を実現し、60kg当たり生産費の低減に繋がることを明らかにしている。この要因として、高い作業能力を持つ常雇オペレータと大型機械利用による高い作業能率の発揮（高い圃場作業量）を指摘している。

しかし、茅根・木村（2009）は、技能水準によって扱う農機も異なることを想定しており、使用農機の性能の影響も含んだ分析結果となっている。つまり、単純に技能以外の条件（保有農機や圃場条件等）を所与とした時の、技能が稲作経営に及ぼす影響は明らかではない。近年、農業経営は法人化・大規模化が進み、大型機械装備を備えた経営も珍しくない。そのため、大型機械化体系を備えた経営において、技能の影響のみに着目して分析する必要があるといえる。

そうした中、この点について松倉ら（2015）は先進大規模法人経営のデータをもとに、農業者の技術・技能向上および経営規模拡大が稲作経営の生産コスト低減に及ぼす効果を定量的に明らかにしている。具体的には、大型機械化体系による大規模稲作法人経営の実績データ等を参考に、農業技術体系データベースを用いた営農支援システム FAPS-DB によるシミュレーション分析（試算計画法）を行っている。分析の結果、稲作主要作業における技能向上による作業能率向上は、玄米 1kg 当たりの固定費および支払い雇用労賃の低減に効果的であり、技能向上による生産コスト低減効果は大きいことを明らかにしている。

また、技能向上によって作業能率が向上すると、作付面積拡大による生産コスト低減効果は大きくなることを明らかにしている。

しかし、松倉ら（2015）は試算計画法による分析を行っており、「保有する農機具等の経営資源や、気象や価格の変動リスクのもとで、必ずしも最適な営農計画になっていない」（松倉ら 2015、p.44）ことが課題として残されている。農業生産は一般的に気象の影響を受けやすく、稲作主要作業の技能を実証的・定量的に分析する上では、降雨条件等によって作業遅延や作業不能となるリスク（以下、作業リスク）の考慮が重要と考えられる。したがって、気象条件に起因する作業リスク等を考慮した数理計画法による分析の必要性を指摘できる。

なお、経済理論の側面からアプローチした研究として武藤（2017）があり、集落営農における最適な人的投資に関して、集落営農から生じる経済余剰を長期的に最大化する経済理論モデルの定式化を行っている。具体的には、「年齢層の異なる農業者による集落営農への労働供給量」と「若手の農業者の指導講習水準」に着目し、その組み合わせを経済理論に立脚し分析している。その結果、長期的な集落営農の余剰に対する影響において若手農業者の労働供給と講習受講が代替性を持つ場合は、高齢層の労働の増大係数の高まりとともに、若手層の労働供給を講習受講へと代替させて彼らの人的投資を進めることが効率的になることを指摘している。また、補完性を持つ場合は高齢層の労働の増大係数が高まるにつれて、若手層の労働供給と講習受講のいずれも減らしながら人的投資を抑制することが効率的になることを指摘している。しかし、この研究ではこれらの実証的知見を示すには至っておらず、実証分析を通じて定量的評価を行うことが残された課題となっている。

2. 省力化技術が稲作・水田作経営に及ぼす影響に関する既存研究

ここでは、スマート農業の要素技術である自動化・ロボット技術の導入が稲作・水田作経営に及ぼす影響（技術の導入効果）を、数理計画法で分析した既存研究をレビューする。スマート農業に関する自動化・ロボット技術の導入効果に関する研究蓄積は近年進んでおり、松本・梅本（2013）、松本（2016a、2020）、塩谷ら（2019）、南石・馬場ら（2019）等が見られる。表 1-1 では、これら既存研究を各分析視角で整理した。

表 1-1 自動化・ロボット技術の導入効果に関する既存研究の分析視角

既存研究	自動化・ロボット技術の導入を想定する作業項目 ^(注1)					作業リスク ^(注2)			労働力
	田植機 作業	コンバイン 作業	トラクタ 作業	水管理	栽培管理	明示 なし	慎重	強気	低減 考慮
松本・ 梅本 (2013)	○ 移植49%減	○ 収穫29%減	○ 代かき35～ 52%減	×	×	×	×	×	×
松本 (2016a)	○ (労働時間 低減記載 なし)	○ (労働時間 低減記載 なし)	○ (労働時間 低減記載 なし)	×	×	○	×	○	×
塩谷ら (2019)	○ (労働時間 低減考慮 なし)	×	○ 耕耘10%減、 代かき10% 減など	×	△ (労働時間 低減考慮 なし)	○	×	○	×
松本 (2020)	○ 移植38%減	○ 収穫30%減	○ 耕起30%減、 荒代かき 20%減など	×	×	×	×	×	×
南石・ 馬場ら (2019)	○ 移植18～ 33%減など	○ 収穫21～ 33%減	×	×	×	○	○	×	○
馬場ら (2019)	○ 移植18～ 22%減など	○ 収穫21%減	○ 耕起耕耘な ど100%減	○ 水管理 100%減	×	○	○	×	○
馬場ら (2020)	○ 移植18～ 43%減など	○ 収穫21～ 35%減	○ 耕起耕耘な ど100%減	○ 水管理 100%減	×	○	○	○	○
本論文 ^(注3)	○ 移植48%減 湛直100%減	○ 収穫34%減	○ 耕起耕耘な ど100%減	○ 水管理 100%減	×	○	○	○	○

資料：松本・梅本（2013）や松本（2016a、2020）、塩谷ら（2019）、南石・馬場ら（2019）、馬場ら（2019、2020）を参考に筆者作成。

注1：「○」の下部に、各研究における自動化・ロボット技術の導入に伴う10a当たり作業別労働時間低減割合を示す。

注2：リスク選好の程度は連続的に変化する。そのため、本論文では便宜的に、「設定年次のどの降雨パターンでも作業遅延・不可能とならない最適営農計画」もしくは「作業リスク回避的な最適営農計画」を用いた分析を「慎重」に、「設定年次の平年降雨パターンで作業可能となる最適営農計画」もしくは「平年降雨量や作業可能日数率をもとに制約条件を設定した最適営農計画」を用いた分析を「強気」に分類した。

注3：参考として、本論文の第4章で想定する分析視角を示す。

注4：各項目について明示的に記載がある研究を「○」、明示的に記載がない研究を「×」とした。なお、塩谷ら（2019）のロボット管理機はGNSSガイダンスを装着した管理機のため、本論文の自動化・ロボット技術の定義に該当しないが、参考として「△」で示す。

第一に、自動化・ロボット技術の導入を想定する作業は、田植機やコンバイン、トラクタといった農機作業が多く見られる。具体的には、自動化・ロボット技術を導入する作業は、南石・馬場ら（2019）は田植機作業とコンバイン作業の 2 種類、これに松本・梅本（2013）や松本（2016a、2020）はトラクタ作業を加えた 3 種類であった。また、塩谷ら（2019）は田植機作業やコンバイン作業に加えて、本論文の自動化・ロボット技術の定義からは外れるが GNSS ガイダンス装着管理機による管理作業も対象にしている。一方、本論文の予備的研究である馬場ら（2019、2020）は、農機作業に加えて水管理も含む 4 種類の作業について、自動化・ロボット技術の導入を想定している。

第二に、作業リスクおよびそのリスク選好に着目して、既存研究を分類する。これは、農業生産が一般的に気象条件の影響を受け、稲作では降雨等による作業遅延・不能といった作業リスクへの対応が重要であり、リスクの大小に対する農業経営の態度・方針（以下、リスク選好）も多様であることから設定している（リスクについては第 2 章で後述）。

まず、作業リスクを明示的に考慮していない研究として、松本・梅本（2013）および松本（2020）が挙げられる。これらは降雨条件等による作業リスクを制約条件に組込んだ最適営農計画での分析か否かが明示されていない。したがって、作業リスクを考慮した最適営農計画を用いた分析とはいえない。

作業リスクを明示的に考慮した研究のうち、松本（2016a）および塩谷ら（2019）は作業リスク選好が強気な最適営農計画での分析に分類できる。松本（2016a）は労働時間制約とロボット稼働制約に降雨量の平年値を用いて算出した最適営農計画を用いており、多雨年では作業が遅延・不能となる可能性がある。したがって、この研究は、作業リスクを回避する最適営農計画ではなく、作業リスク選好が強気な最適営農計画での分析といえる。また、塩谷ら（2019）は労働時間制約について降雨状況を考慮した機械作業可能日数率（農林省農事試験場作業技術部機械化経営研究室 1968）を用いて設定することで作業リスクを考慮している。しかし、この機械作業可能日数率は、20 世紀半ばの機械体系や降雨条件を想定しており、また一般的な天候条件による推定値であるため、現在の機械体系や降雨条件のもと、多雨年も想定した作業リスク回避的な最適営農計画とはいえない。そのため、この研究は作業リスク選好が強気な最適営農計画を用いた分析と考えられる。

以上の研究のように、作業リスク選好が強気な最適営農計画で分析した場合、多雨年においては作業遅延・不能になり、計画通りの収量や品質、収益を実現できず、導入効果が十分に発揮されない可能性がある。また、作業リスクを考慮しない分析の場合、作業リス

ク選好が強気な場合以上に評価結果が適用できない降雨条件が多くなると考えられ、導入効果の過大評価に繋がる可能性がある。

一方、作業リスク選好が慎重な最適営農計画で分析した研究として、筆者以外の既存研究は見られない。本論文の前身的研究である南石・馬場ら（2019）や、予備的研究である馬場ら（2019）は、機械作業時間制約について過去 20 年間のどの降雨条件でも作業遅延・不能とならずに作業が可能となる最適営農計画を用いて自動化・ロボット技術の導入効果を分析している。他方で、本論文の予備的研究である馬場ら（2020）は、慎重な最適営農計画に加えて、機械作業時間制約について過去 20 年間の平均年次の降雨パターンで機械作業可能となる強気な最適営農計画でも分析している。

第三に、自動化・ロボット技術が労働力不足という社会的課題の解決に期待されることから、労働力が低減することを想定した分析を行っているか否かで整理する。その結果、本論文の前身的研究の南石・馬場ら（2019）や、予備的研究の馬場ら（2019、2020）では労働力が低減する場合も想定した分析を行っているが、筆者の既存研究以外ではこの点を明示的にシナリオとして組み込んだ分析は見られない。

以上の既存研究について、自動化・ロボット技術の導入効果に関する研究蓄積は進んでいる。しかし、自動化・ロボット技術の省力化程度（技術的な水準）や対象作業、作業リスク選好、技能との関係の面を考慮した研究の蓄積は十分ではない。

自動化・ロボット技術は日進月歩で研究開発が進んでおり、自動で公道走行を行うロボット農機の実証も行われている（内閣府 2018）。そうした中、既存研究ではこのようなロボット技術や、将来実現が期待される作業完全自動化に寄与するロボット技術の導入効果が十分に明らかにされていない。堀内（2001）は、社会科学分野において開発前技術の事前評価や技術開発の方向性提示に関わる研究が重要と指摘しており、将来実現が期待される技術を分析対象とすることの重要性は大きいと考えられる。また、「水見半作」といわれるほど重要な稲作の水管理に関する自動化・ロボット技術を対象とした研究は、筆者の予備的研究以外には見られず、慣行農機作業以外の自動化・ロボット技術を対象とすることも必要と考えられる。

また、作業リスクについて、昨今の気候変動によって農業リスクの増大が懸念されること等から、多くの既存研究で一定の考慮がなされているが、作業リスク選好の前提条件は多岐に渡る。農業経営はリスク回避的な傾向にある（Hardaker et al. 2015）との指摘もあることから、作業リスク選好が慎重な経営を想定した分析が基本になると考えられるが、

この想定の下での分析は筆者の予備的研究以外には見られない。他方で、農業経営のリスク選好は千差万別であることから（南石 2011）、複数のリスク選好を考慮し、ロボット技術の導入効果の幅（閾値）を示すことも重要と考えられる。しかし、そのような既存研究は筆者の予備的研究以外には見られず、ロボット技術の導入効果が大きい（あるいは小さい）作業リスク選好は十分には明らかになっていない。

最後に、本論文の主題でもある技能について、ロボット技術との関係性は深いが、ロボット技術の導入効果に対する技能の影響を明らかにした研究は見られない。自動化・ロボット技術の導入によって非熟練者でも熟練者水準の作業が可能となることが期待されていることから、この点の定量的な解明は重要と考えられる。

3. スマート農業技術の導入活用を規定する要因に関する既存研究

ここではスマート農業技術に着目して、技術の導入活用を規定する要因（技術の導入活用要因）に関する既存研究をレビューする。まず、スマート農業技術のうち、先行的に導入活用が進む情報通信技術 ICT（情報技術 IT を含む）について、その導入活用要因に関連する主要な既存研究をレビューする。

南石ら（2013）は、全国農業法人アンケートに基づいて、農業法人経営における ICT 導入活用の動向を分析している。その結果、多くの ICT 導入活用項目で、従事者数が多くなると ICT 導入活用経営の割合が増加する傾向が見られ、従事者数 21 人以上ではその傾向が明瞭であることを明らかにしている。

竹内・南石（2013）は、南石ら（2013）と同様のアンケートに基づいて、農業法人経営における ICT 導入活用要因をロジット・モデルで分析している。その結果、生産部門における ICT の導入活用要因として、法人設立後の経過年数が長いこと、農家一戸で法人を設立していないこと、IT に詳しい社内人材がいること、等が影響していることを明らかにしている。

石戸（2016）は、日本農業法人協会の会員を対象としたアンケートに基づいて、農業法人経営の経営属性や経営者の課題意識が各部門の ICT 導入活用に及ぼす影響を、数量化 2 類で分析している。その結果、売上高や作物、地域といった経営属性は生産部門等における ICT 導入活用に一定程度的影響を及ぼすこと、売上高規模が大きいほど影響度が高い傾向にあることを明らかにしている。また生産部門においては、生産拡大やコスト対策といった経営者の課題意識と、ICT 導入活用が必ずしも結びついていないことを明らかにして

いる。

緒方ら（2019）は、全国農業法人アンケートに基づいて、農業法人経営の ICT 費用対効果に対する評価の潜在因子を抽出し、その因子と経営属性との関係性を分析している。その結果、10 項目の導入活用目的別にみた ICT 費用対効果の潜在因子は「生産の見える化」、「経営の見える化」、「利益確保」を抽出している。これら因子と経営属性の関係として、「生産の見える化」や「経営の見える化」では売上高が高いほど ICT 活用の評価が高くなる傾向や、「利益確保」では売上高 1～3 億円の経営で費用対効果が最も高いこと、「生産の見える化」では従事者数が多いほど ICT 活用の費用対効果が高くなる傾向を明らかにしている。

衣笠ら（2021）は、個人経営農家における情報技術 IT の導入活用要因の解明を目的とし、兵庫県養父市の個人経営農家アンケートに基づいて、IT の導入活用状況や今後の導入活用意向について順序プロビット・モデルで分析している。その結果、IT 導入活用要因として、年間農業従事日数が多いこと、農業所得が高いこと、PC やスマホ等を所有していること、代表者の年齢が低いこと、農業機械を更新する予定であること、農業にやりがいを感じていること、が影響していることを明らかにしている。

以上のように、スマート農業技術の一つである ICT について、その導入活用要因の研究蓄積は進んでいる。なお、海外においても ICT の導入活用要因に関する研究は見られる。例えば、Bucci et al.（2019）は、イタリアの農業経営における情報管理システム（management information systems）の導入活用要因を、イタリア統計データ ISTAT に基づいた重回帰分析で明らかにしている。

続いて、自動化・ロボット技術や ICT 等で区別せずにスマート農業技術として一括りに捉え、その導入活用要因を明らかにした既存研究としては以下があげられる。

中国地域創造研究センター（2019）は、中国地域の農業法人経営等を対象にしたアンケートに基づいて、スマート農業（作業自動化やデータ収集・解析等）の導入活用状況等を分析している。その結果、スマート農業を「既に導入している」農業法人経営の割合は、農事組合法人よりも会社（有限会社、株式会社、合同会社等）で高く、正規従業員数が 10 人以上、経営者の年齢が 50～60 代で高い傾向を明らかにしている。また、スマート農業の導入活用によって「解決した」あるいは「解決したい」農業経営上の課題で最も多いのが「現場作業の省力化」であり、スマート農業の導入活用上の課題は「コストが高い」や「対応できる人材が不足」等であることを明らかにしている。

国際大学 GLOCOM (2019) は、稲作従事者の農業 IT (農業に関連する IT 機器・サービス、自動運転トラクタなどを含む) の導入活用に関心を持つ要因について、オンラインアンケートに基づいてロジット・モデルで分析している。その結果、所属経営体の属性に関する導入活用要因として、水稻売上高が大きいこと、従事者の平均年齢が低いこと、が影響していることを明らかにしている。また、回答者 (稲作従事者) に関する導入活用要因は、年齢や農業従事年数、SNS 利用時間、IT に詳しい友人・知人の存在、補助金情報チェックの有無、農業 IT 関係の勉強会等への参加有無であることを明らかにしている。

南石 (2022) は、情報マネジメント技術と自動化・ロボット技術を総称してデジタル技術とし、その導入活用が必要になる経営規模について、全国農業法人アンケートに基づいて分析している。その結果、売上高規模でみると 5000 万円未満では 34.4%、1 億円未満では 57.6%、2 億円未満では 81.8%の農業法人経営が、各経営規模でデジタル技術の導入が必要になると考えていることを明らかにしている。同様に、従事者数規模 (=役員+正規従業員+非正規従業員) でみると、9 人までで 39.9%、14 人までで 68.8%、29 人までで 87.3%の農業法人経営が、各経営規模でデジタル技術の導入が必要になると考えていることを明らかにしている。そして、これらの結果は、デジタル技術が農業経営において重要な技術になりつつあること、また導入活用意向は経営規模 (売上高や従事者数) 等が影響することを指摘している。

また、Mi et al. (2021) および南石 (2022) は、日本の農業法人経営におけるスマート農業技術の導入活用数に影響を及ぼす要因について、全国農業法人アンケートをもとに負の二項分布回帰分析を行っている。その結果、スマート農業技術の導入活用要因として、役員数が多いこと、ICT 活用力・情報マネジメントが自社の強みと捉えていること、経営者の年齢が若いこと、経営者が専修学校や大学校を卒業していること、が影響していることを明らかにしている。また、法人種別が有限会社に比較し農事組合法人で、利益率目標が 0% (収支均衡) に比較し目標設定がない経営で、主位部門作目が水稻に比較し花き・観葉植物の経営で、スマート農業技術の導入活用数が少ないことを明らかにしている。また、Mi et al. (2021) から更にデータ精査し再分析した Mi et al. (2022) では、スマート農業技術の導入活用要因として、農地所有適格法人 (農業生産法人) であること、ICT 活用力・情報マネジメントが自社の強みと捉えていること、経営者が専修学校や大学校を卒業していること、が影響していることを明らかにしている。また、売上高目標が現状維持に比較し 1.2 倍の経営で、利益率目標が 0% (収支均衡) に比較し 15~20%の経営で、主位部門

作目が水稻に比較し養鶏（肉・卵）の経営で、スマート農業技術の導入活用数が多いことを明らかにしている。一方、法人種別が有限会社に比較し農事組合法人で、主位部門作目が水稻に比較し花き・観葉植物の経営で、スマート農業技術の導入活用数が少ないことを明らかにしている。

最後に、ICT と自動化・ロボット技術それぞれの導入活用要因を明らかにした既存研究として上西ら（2022）がある。上西ら（2022）は、稲作法人経営におけるスマート農業技術の将来の導入活用意向を規定する要因について、稲作法人経営の自社の強み・弱みの評価に注目し、全国農業法人アンケートに基づいた決定木分析を行っている。その結果、「今後の伸びしろ」（=現在の導入活用状況と将来の導入活用意向の差分）が最も大きい ICT である「ドローンや人工衛星を活用した作物の生育状況の計測」は、「生産・加工技術」、「取引先・地域の信頼・ブランド」、「販売・マーケティング」を自社の強みと捉えている経営で将来導入活用したいと考える傾向を明らかにしている。同様に、「今後の伸びしろ」が最も大きい自動化・ロボット技術である「作物栽培機械作業の自動化・ロボット」は、「人材育成」、「生産・加工技術」が自社の強みではない経営で将来導入活用したいと考える傾向を明らかにしている。

以上より、ICT 等のスマート農業技術の導入活用要因を明らかにした既存研究は見られるが、自動化・ロボット技術の導入活用要因に関する研究蓄積は十分ではない。そうした中、上西ら（2022）は「作物栽培機械作業の自動化・ロボット」等の導入活用を規定する要因として「自社の強み・弱み」に着目し、分析している。しかし、この研究では「自社の強み・弱み」以外の要因の解明は今後の課題として残されており、「作物栽培機械作業の自動化・ロボット」以外の自動化・ロボット技術の導入活用を規定する要因は明らかになっていない。経営の多様な特徴によって導入活用している自動化・ロボット技術の種類が異なると考えられるため、その技術の導入活用を規定する要因に関する研究蓄積が必要と考える。

なお、スマート農業技術以外の農業技術を対象とし、農業経営における技術の導入活用要因を分析した既存研究は多い。そのうち 1980 年代以前の膨大な既存研究をレビューした研究として Feder et al.（1985）がある。これによると、農業者の技術導入活用要因として経営規模や労働力、リスク・不確実性、教育水準等があげられている。

また、Feder et al.（1985）の技術採択モデルを援用した研究として川崎（2010）がある。川崎（2010）は、米生産費統計個票に基づいて、水稻直播栽培技術の導入活用要因を

プロビット・モデルで分析している。分析の結果、経営耕地面積や面積当たり世帯員数、技術力が水稻直播栽培技術の導入活用を大きく左右する要因であることを明らかにしている。

他方、浅井・山口（1998）は、米販売農家へのアンケートに基づいて、水稻病害抵抗性品種の導入活用要因等を、2 群線形判別分析で明らかにしている。具体的には、水稻病害抵抗性品種の導入活用要因として、水稻作付面積が大きいこと、複合経営であること、経営発展志向度や技術関心度の高さが影響していることを明らかにしている。

そして、松本ら（2004）は、栽培方式の変化や新たな機械・施設への投資を必要とする「水稻ロングマット水耕苗の育苗・移植技術」（以下、ロングマット技術）の導入活用要因を、ロングマット技術実演会の参加者アンケートに基づいて、2 群線形判別分析で明らかにしている。具体的には、ロングマット技術の導入活用要因として、「ぜひ導入したい」と回答した群では、後継者の有無、経営者の資材・雇用費問題に対する意識、経営者の全般的な積極性や新技術への適応性といった志向が影響していることを明らかにしている。

第4節 本論文の目的

わが国の稲作を取り巻く課題が山積する中、これら課題の解決には、稲作経営の法人化・大規模化の進展等に伴い重要性がさらに高まっている技能や省力化技術（技能の技術化）に着目した研究が必要と考えられる。しかし、稲作法人経営における技能向上や省力化技術導入の影響、そして技術の導入活用を規定する要因まで、体系的かつ実証的に分析した研究は見られない。

そこで本論文では、稲作主要作業（耕起・代かき、田植え、水管理、収穫等）の技能向上および省力化技術導入が、稲作法人経営の経営規模、労働時間および生産コストに及ぼす影響を解明することを目的とする。省力化技術は技能を技術化したものと捉えられ、その代表例としてロボット技術を取り上げる。さらに、ロボット技術の効果的な導入活用に資するため、稲作法人経営における自動化・ロボット技術の導入活用を規定する要因の解明を目的にする。この目的に接近するため、以下の4つの分析を行う。

第一に、稲作主要作業の技能向上が、稲作法人経営の作付面積や労働時間、生産コストに及ぼす影響を明らかにする。第二に、稲作主要作業の省力化技術が、稲作法人経営の作付面積や労働時間、生産コストに及ぼす影響を明らかにする。具体的には、省力化技術の代表例としてロボット技術を取り上げ、その導入効果（それぞれ規模拡大効果、労働代替

効果、費用対効果）を分析する。第三に、稲作法人経営における技能水準がロボット技術の規模拡大効果や労働代替効果に及ぼす影響を明らかにする。その際に、上記第一の分析で用いる技能水準別シナリオや、上記第二の分析で用いるロボット技術の前提条件を参考にした分析を行う。第四に、稲作法人経営における自動化・ロボット技術の導入活用を規定する要因を明らかにする。

第5節 本論文の分析枠組と構成

上述の目的に接近するため、本論文では以下の構成となっている（図 1-3）。

第1章（本章）では、本論文の社会的背景や問題意識を述べ、主要概念の定義を述べた。また、技能・技術が経営に及ぼす影響や、技術の導入活用を規定する要因に関する既存研究をレビューした。これらを通して本論文の課題を提示し、各章の位置づけを示した。

第2章では、研究の方法論として、本論文で用いる概念や手法について、既存文献を参考に整理、考察し、対象の限定を行う。具体的には、技能・技術やロボット技術の関係、分析手法としての数理計画法や計量経済モデルについて言及する。

第3章では、稲作主要作業（慣行技術）に関する技能向上が稲作法人経営の作付面積や労働時間、生産コストに及ぼす影響について明らかにする。具体的には、滋賀県所在の大規模稲作法人経営の実績データ等を参考に、作業リスクを考慮した数理計画モデルを構築し、技能水準シナリオ別に算出した最適営農計画を分析する。

第4章では、稲作法人経営におけるロボット技術の規模拡大効果や労働代替効果、費用対効果を明らかにする。具体的には、茨城県所在の大規模稲作法人経営の実績データ等を参考に、作業リスクを考慮した数理計画モデルを構築し、ロボット技術を未導入・導入後で算出した最適営農計画を分析する。最適営農計画の算出の際は、作業リスク選好や労働力低減を考慮したシナリオも別途設定する。

第5章では、稲作法人経営の技能水準がロボット技術の規模拡大効果や労働代替効果に及ぼす影響を明らかにする。具体的には、第4章と同様の数理計画モデルを用い、第3章の技能水準シナリオを参考にした設定や、第4章のロボット技術の前提条件に基づいて、最適営農計画を分析する。

第6章では、ロボット技術の効果的な導入活用に資する知見を得るため、自動化・ロボット技術の導入活用を規定する要因を明らかにする。具体的には、九州大学農業経営学研究室が2019年に実施した全国農業法人アンケートのデータにプロビット・モデルを適用

し、稲作法人経営における自動化・ロボット技術の現在の導入活用状況を規定する要因を分析する。

第7章では、各章の要約と本論文の結論を述べる。そして、今後の課題について言及する。

なお、第3～5章では、大規模かつ先進的な稲作法人経営を前提とした分析を行う。具体的には、100ha 超の大規模かつ先進的な稲作法人経営を参考事例として数理計画モデルを構築する。これは、稲作法人経営の作付面積規模が増加傾向にある中、その延長線上にあると考えられる「わが国を代表する先進的な大規模稲作経営の潜在的可能性、換言すれば稲作経営のフロンティア」（南石 2016、p.6）から発想したアプローチといえる。また第6章で対象とする稲作法人経営は、後述のように技能水準が多様であることが推察され、技術の導入活用の有無も異なる。そのため、技能と技術に着目すると、第3～5章の先進事例での分析範囲と、第6章の対象経営での分析範囲の多くは対応すると考えられる。

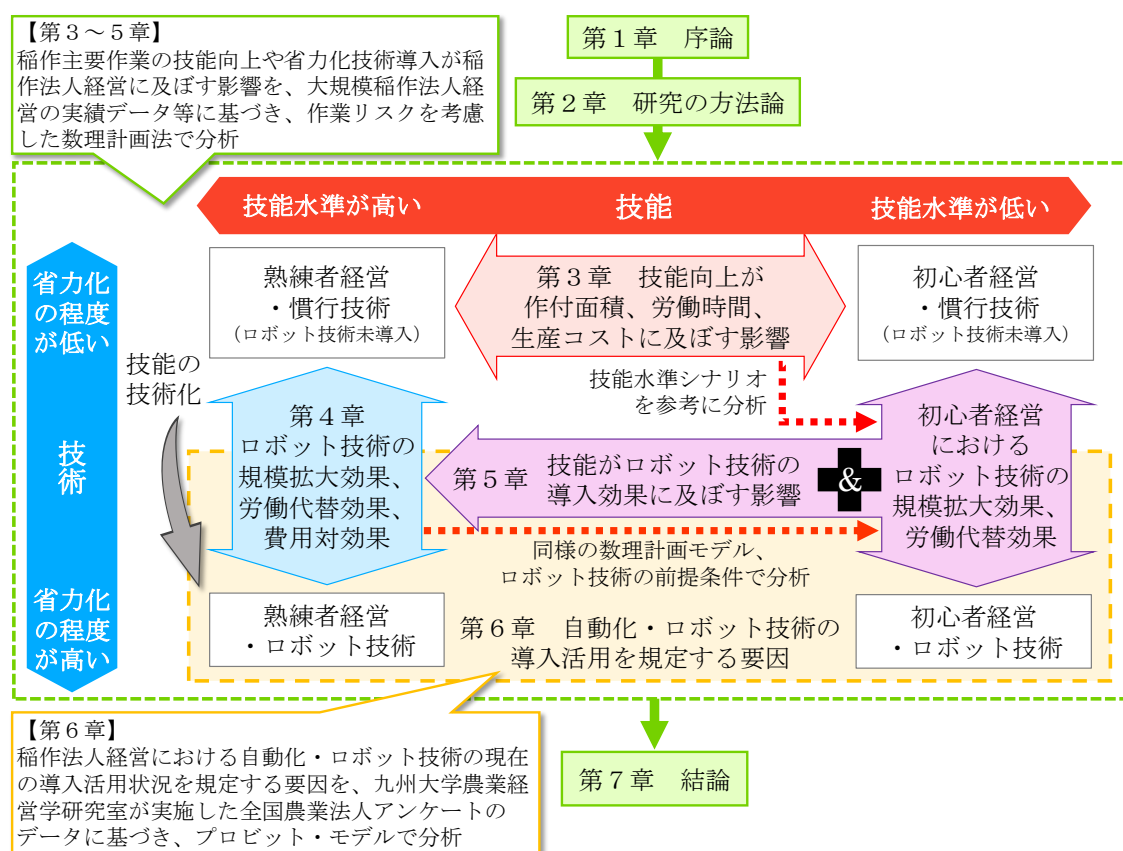


図 1-3 本論文の分析枠組と章別構成

資料：筆者作成。

第2章 研究の方法論

—概念整理・対象限定の観点から—

第1節 はじめに

本章では、本論文で用いる概念や手法について、既存文献を参考に整理、考察し、対象の限定を行う。具体的には、技能・技術、技能の技術化等に関する概念を整理し、それらとロボット技術の関係を考察する。また、分析手法として用いる経営的評価手法や計量経済モデルについて言及する。

第2節 技能・技術

1. 一般的な技能・技術

南石（2015a）は多くの既存文献に基づいて、技術・技能の概念を整理している。そこで本論文では、技能・技術に関連する定義は南石（2015a）に依拠する。

南石（2015a、p.24）によると、技能は「意図した結果が無意識のうちに得られるように心身が働く自動化された能力」であり、技能の要素の一部は ICT 等で可視化することで暗黙知やノウハウになりうる。また、技能は感覚・運動系技能（体の技能）と判断・計画・管理系技能（脳の技能）に大別できる。技術は「意図したように物事をたくみに行う方法であり知識の一種」である。ノウハウは技術と技能の間にある「知識」であり、「技術を用いて意図した結果を得るために役立つ、技術の実施に関する知識」である。知識については「物事について知っていること、その内容」であり、そのうち形式知が「特に言語（図表、数式、コンピュータ言語等含む）で表現されている知識」で、暗黙知が「言語で表現することが困難な（あるいは、言語化されていない）知識」である。それぞれの概念の関連を示したものが図 2-1 である。

このように南石（2015a）は技術・技能伝承や人材育成の観点から知識（形式知、暗黙知）にも着目しているが、本論文では主に技能・技術・ノウハウに着目する。なお、『明鏡国語辞典』（北原 2011、p.411）によると、技術は「科学理論・知識を実地に応用し、人間生活に役立てる方法・手段」とある。この点は、南石（2015a）の定義では明確に示されていないが、技術には科学的な要素も含むと考えられる。

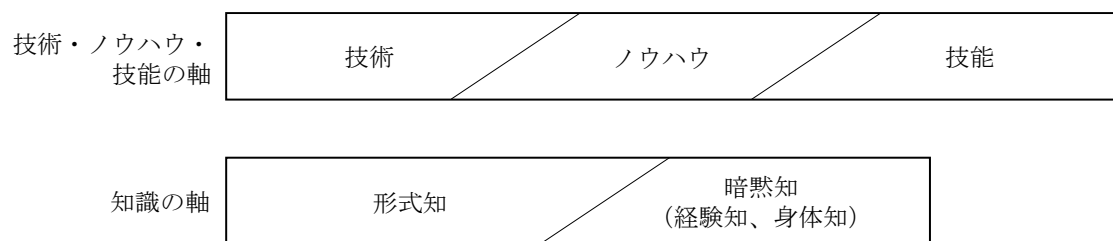


図 2-1 技能・ノウハウ・技術と知識の関連

資料：南石（2015a、p.25、図 2-1）より抜粋し、筆者が一部を加工作成。

農業生産活動における技能・ノウハウ・技術の一般的な関係を図 2-2 に示す。渡辺（1976、p.4-6）によると、一般に「生産現象は人間が自然に働きかける過程」といわれ、この働きかけを引き起こす契機が人間による労働と技術（ここでいう技術には技能（経験的技術）も含むと考えられる）である。また、農業生産活動の主な意図・目的は、作物や家畜のもつ生産能力を最大限に発揮させるための最適条件を、生育環境を制御することで与え、作物や家畜を意図する状態に育て、生産物の価値を高めることである（大崎 1977、南石 2015b）。

したがって、一般的な農業生産活動は、作物や家畜を意図する状態に育てる（意図した結果を得る）ために、農業者が作物や家畜の生産能力発揮のための最適条件を与える生育環境制御方法を用いて、対象作物・家畜あるいはその生育環境に作用する（働きかける）過程と考えられる。生育環境を制御する方法として、「意図したように物事をたくみに行う方法」である技術があり、その活用の際に「技術を用いて意図した結果を得るために役立つ、技術の実施に関する知識」であるノウハウや、「意図した結果が無意識のうちに得られるように心身が働く自動化された能力」である技能が求められると考えられる。

この技術に関する技能は能力として、農業者が実務経験等を通して習得する（松本 2003）。また同様に、農業者はノウハウを知識としてそれぞれと関連しながら習得すると考えられる。ただし、形式知としての技術・ノウハウはそれ自体が成果を生み出さず、練習や経験によって培った能力である技能こそが求める成果を生み出す（松本 2003）。

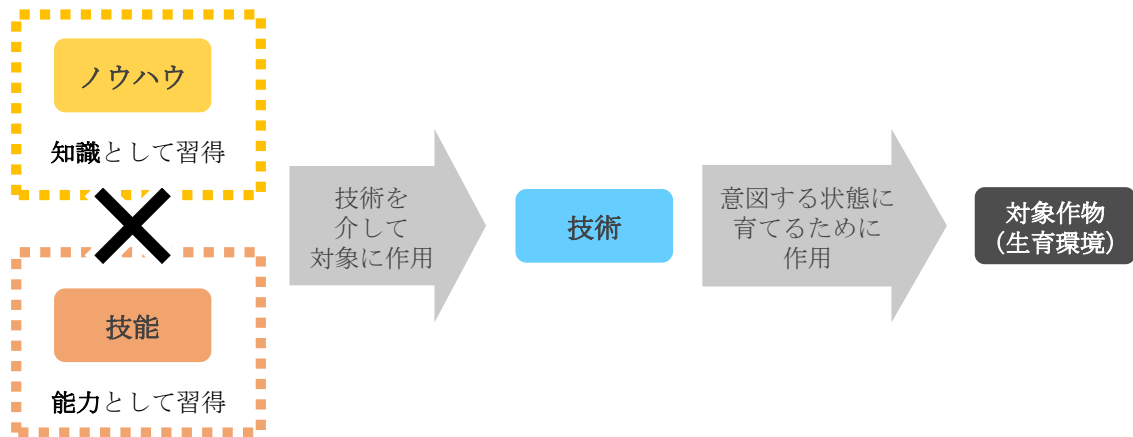


図 2-2 農業生産活動における技能・ノウハウ・技術の一般的な関係

資料：筆者作成。

2. 本論文で焦点を当てる農業技能・技術

農業技能は、感覚系技能、運動系技能、作業判断系技能、作業計画系技能、経営管理系技能に大別できる（南石 2015a）。具体的には、感覚系技能は「五感（視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚）によって作物や家畜の状態（生体情報）を把握し、また土壌や畜舎等の環境状態（環境情報）を把握する技能」である（南石 2015a、p.29）。運動系技能は「農業機械・施設等を意図したように運転操作する技能」であり、運動系技能の多くは感覚系技能を必要とする（南石 2015a、p.30）。作業判断系技能は「農作業の適期・適量を判断する判断技能」であり、例えば「水管理のタイミング（適期）を判断するためには、水稻栽培の意図（目標）から見た水稻生育状態を感覚技能により把握し、今後の天候予想を考慮して、農作業の適期を判断する必要がある」（南石 2015a、p.30）。作業計画系技能は「作業の制約条件や優先順を判断して、農業全体や特定部門の作業計画を作成・修正する技能」である（南石 2015a、p.30）。このうち、本論文では農作業の作業能率・省力化に関連する技能に焦点を当てる。具体的には、主に感覚・運動系技能を対象とし、一部の作業判断・計画系技能も関連する。

他方、農業技術は、「農業生産行為を合目的に実現するために必要な農業生産手段や作業のやり方を結合する機能を持ったもの」である（日本農業経営学会農業経営学術用語辞典編纂委員会 2007、p.41）。その類型は捉える視点によって様々であり、例えば、技術進歩の視点から捉えると、生物的・科学的技術（BC 技術）と機械的技術（M 技術）の整理ができる（日本農業経営学会農業経営学術用語辞典編纂委員会 2007）。生物的・科学的技術（BC 技術）は品種改良や育苗・栽培技術、肥料・農薬・資料等の資材利用等の技術であり、機械的技術（M 技術）は人力・畜力による農作業をトラクタや田植機等の農業機械で代替する技術である（南石 2022）。わが国の稲作における主要な農業技術（品種、農業機械、栽培技術）の変遷については上西（2022）等で整理されている。

本論文では農業技術の省力化の側面に着目し、具体的な省力化技術としては技能と関連が深いと考えられる機械的技術（M 技術）に焦点を当てる。省力化技術（機械的技術）は、先述の技術の定義（南石 2015a）に即すと、農作業を機械が自動で行えるように（意図）、従来人間が行っていた作業・操作（物事）を、各種機構を組み合わせて機械化・省力化する方法（たくみに行う方法）であり、その仕組み等は知識の一種と考えられる。これは省力化の側面から捉えた狭義の定義であるが、水稻栽培全体で考えると図 2-2 の技術の一部であることに変わりはなく、水稻の生育最適化の意図を持ちつつ省力化も目指した技術

と考えられる。

機械的技術（M 技術）は、農作業における作業能率増大や労働負担軽減を図り、農業者 1 人当たりの生産量増加、つまり単位労働当たりの生産性を向上させるための有力な手段として用いられ、その効用が期待されるものである（大崎 1977）。稲作においては、1950～60 年代に脱穀機や耕運機を用いた小型機械化体系が確立した後、1970 年代に入ると乗用型トラクタや動力田植機、自脱型コンバインを基軸とする中型機械化一貫体系が形成され、稲作主要作業の省力化技術として急速に普及し、労働生産性が飛躍的に向上している（上西 2022）。本論文で対象とするロボット技術は、農作業の自動化という意味では機械的技術（M 技術）の発展と捉えることができる（南石 2022）。なお、本論文では省力化の側面に焦点を当てているため、ロボット技術が水稻生育に及ぼす影響は慣行技術と同様（技術間で一定）とし、省力化のみに影響する技術としてロボット技術の導入効果を分析している。

3. 機械化、自動化、ロボット化の定義

ここで機械的技術（M 技術）に関連する用語として機械化や自動化、ロボット化に着目し、概念を整理する。

まず「機械」について、『広辞苑』（新村 2018、p.688）によると「外力に抵抗し得る物体の結合からなり、一定の相對運動をなし、外部から与えられたエネルギーを有用な仕事に変形するもの。原動機・作業機械など」であり、「主に人力以外の動力による複雑で大規模なもの」とある。また、『明鏡国語辞典』（北原 2011、p.401）によると「動力によって作動し、一定の運動・仕事を行う装置。一般に「機械」はそれ自体に動力源を備えた規模の大きな装置」を指すとある。そして、『大辞林』（松村 2019、p.588）によると、「動力源から動力を受けて一定の運動を繰り返し、一定の仕事をする装置。主にきっかけを与えると人力を借りずに自動的に作動するもの」である。また「機械化」について、『広辞苑』（新村 2018、p.688）によると「生産・労働手段に機械を導入すること」とあり、『明鏡国語辞典』（北原 2011、p.401）によると「人力のかわりに機械を使うこと」である。そして、『大辞林』（松村 2019、p.588）によると、「機械を用いることによって人手を省き、能率を高めること」である。したがって、「機械」は「動力源を有し、人力以外の動力を受けて、目的とする一定の運動・仕事を行う装置」であり、その「機械を生産・労働手段に導入し、人力のかわりに、機械によって生産・作業などを行うこと」が「機械

化」といえる。

次に「自動」について、『広辞苑』（新村 2018、p.1315）によると「自然に動くこと。自分の力で動くこと」とあり、「特別の手続きをしなくても自然に行われること」とも記されている。また、『明鏡国語辞典』（北原 2011、p.753）によると「機械などが自身の力で動き働くこと。オートマチック」とある。そして、『大辞林』（松村 2019、p.1134）によると、「他からの力によらず、自分の力で動くこと」とあり、「機械などで、定められた操作を行うと、動作が機械自身により行われること。オートマチック」とも示されている。また「自動化」について、『広辞苑』（新村 2018、p.1315）によると「人手をかけず、機械が処理する方式に変えること」であり、『大辞林』（松村 2019、p.1134）によると、「人手によらず、機械やコンピュータで行うようにすること」である。したがって、「自動」は「定められた操作を行うことで、機械自身の力で動き働くこと」であり、「人手によらず、機械が行う方式に変えること」が「自動化」といえる。

最後に、「ロボット」について、『広辞苑』（新村 2018、p.3149）によると「一般に、目的とする操作・作業を自動的に行うことのできる機械または装置」である。また、『明鏡国語辞典』（北原 2011、p.1865）によると「コンピュータの制御によって特定の作業・操作を自動的に行う装置」である。そして、『大辞林』（松村 2019、p.2758）によると、「人間に類似した動きや形態をもち、複雑な動作をコンピュータ操作により自動的に行う装置」である。したがって、「ロボット」は「目的の作業・操作をコンピュータ制御によって、人間にかわり、自動的に行う機械・装置」といえる。なお、「ロボット化」についてこれら文献では記載がなかったが、「機械化」や「自動化」と同様に捉えると、「目的の作業・操作を人手によらず、ロボット自身が行う方式に変えること」が「ロボット化」と考えられる。

他方で、一概にロボット技術といっても捉え方は様々で、産業用のロボットアームから人型ロボット（ヒューマノイドロボット）、インターネット上の検索ロボット等がある。そうした中、ロボット政策研究会（2006）は、一般的なロボット技術について、検索ロボット等の情報技術 IT との区別や市場の側面から捉えることに主眼を置いて定義している。それによると、ロボット技術は「センサー、知能・制御系、駆動系の 3 つの要素技術を有する、知能化した機械システム」とされている（ロボット政策研究会 2006、p.7）。ここでセンサー技術は「ロボット内部の状態や、ロボット外部の情報を知る」ための要素技術、そして駆動系技術は「ロボットが動作を行う」ための要素技術であり、知能・制御系技術

は「センサから得た情報を処理し、次に行う動作を判断し駆動系に命令する」要素技術である（山本・穂西 2016、p.7）。以上より、本論文における「ロボット技術」は、技術的な側面からは「要素技術としてセンサーや知能・制御系技術、駆動系技術を有しており、知能化した機械システム」と捉える。

4. 技能の技術化と機械化技術（M 技術）

技能の技術化について、渡辺（1976、pp.14-15）は、科学的技術を「技術」、経験的技術を「技能」と呼ばれる場合が多いとした上で、一般的な技術発展史は「技能より技術へ」の移行の歴史であり、これは「技術＝技能の論理化・一般化の過程であった」と指摘している。また、海野（1999）は、技能伝承において、後継者を育成するとともに、技能を科学の力で技術化することが重要と指摘している。そして、松本（2003）は、特に製造業の分野における情報技術化は、これまで熟練者の手作業でしか成し得なかった高精度の作業の機械化を可能にしようとしていると述べている。加えて、村川（2002）は、技能の技術化において、計算機を用いたシミュレーションが匠の技（状況把握能力および問題解決能力）に置き換わるものとして期待され、匠の技と同様に、匠が使う道具の改良・革新も重要であること等が指摘されている。他方、農業分野においては、南石（2015b）が、営農可視化の方法によって、ノウハウの一部は技術化することが可能で、技能の一部はノウハウ化することが可能と述べている。なお、新しい技能・技術を生み出すには高度な技能・技術が求められることも指摘されている（海野 1999、村川 2002）。

このように「技能の技術化」という概念は存在しているものの、明確に定義した既存文献は見当たらない。そこで本論文ではこれら既存研究を参考に、「技能の技術化」を「技能を技術に変換・置き換えること」と定義する（図 1-1）。技能の技術化では、技能の論理化・一般化が行われ、その際に情報技術等が有効な手段になると考えられる。また、技能の技術化では、技能自体あるいは技能を用いることで得られる成果がベンチマークとなり、ベンチマークにする技能水準によって開発技術の技術的な水準も変わると考えられる。例えば、熟練者の技能を技術化することで、初心者でも熟練者並みの農作業が可能なロボット技術が実現できると考えられる。さらに、技能を技術化することで、属人的な技能の要素が農業者から切り離され、技術として導入活用することが可能となる。

なお、農業においては、「農業技術の標準化やマニュアル化が遅れており、技術活用のための「ノウハウ」（知識）の多くが作業者の記憶に頼っている」ため、技能とノウハウ

の区別が曖昧になっている可能性があることが指摘されている（南石 2015b、p.45）。加えて、技術とノウハウについても明確な区別が難しい場合が多いことから、狭義の技術とその実践に必要なノウハウを総称して広義の技術とされることもあると指摘されている（南石 2015b）。そこで本論文では、主に技能と技術に着目し、それらの一部にノウハウが含まれる場合もあると考える。したがって、技術化する技能にはノウハウの一部も含まれ、関連するノウハウも同時に技術化されると考えられる。

他方、機械化技術（M 技術）について、一般的な機械化は多機能な人間の能力を機能分割し、一つ一つの機能を人間に代替する、つまり単能化して機械に置き換えることから始まり、動力が発明される産業革命を経て、単能機械の能率が向上した過程がある（吉川 1992）。わが国の農業における機械化も、「農法の変革を果たしうるものではなく、人力農法という在来の体系の中での各作業の機械化であり、能率化だった」との指摘もある（武井 1993、p.25）。また、「稲作生産工程の機械化は、熟練技能・労働を解消させつつ重労働を排除し、大幅に省力化を促進した」（阿部 1993、p.71）との指摘もあり、農業の機械化は技能の技術化の過程を経ていることが示唆される。

したがって、農作業に関する技能の技術化は、農業の機械化・自動化・ロボット化で捉えられると考えられた。それを整理したものが図 2・3 である。具体的には、農業者（人力）による農作業の技能を技術化（機械化）したものが機械であり、その多くは一定の操作が必要なものの特定作業が自動化された自動化技術と考えられた。また、自動化技術の機械操作に関する技能を技術化し、作業・操作ともに自動化された機械がロボット技術と考えられる。したがって、本論文では、「ロボット技術」を「農作業に関連する技能を技術化し、目的の作業・操作を、農業者にかわり自動的に行う、センサーや知能・制御系技術、駆動系技術の要素技術を有する機械」と定義する。

ここで、「目的の作業・操作」の範囲によって、ロボット技術に該当する具体的な技術が決まると考えられる。そのため、本論文では、慣行技術と区別するため、対象とする最低限の農作業を以下の 2 点に限定する。第一に、農機作業（耕起耕耘や田植えなど）について、圃場内でオペレータが搭乗して行う全ての農機作業・操作とする（ロボット技術は農機の自動化レベル 2 以上に相当）。第二に、水管理について、圃場への給水あるいは排水に関する作業・操作とする。これら作業に関する技能を技術化したものを、本論文ではロボット技術と捉える。なお、これらの他の作業（例えば、農機作業における圃場間移動など）の自動化など、より高度な作業・操作の自動化を可能とする技術も同様にロボット

技術として扱う。

ところで、スマート農業では、一般的にロボット技術として注目を集めているが、本論文の定義上、それには自動化技術が多く含まれる。そのため、一般的にスマート農業の要素技術として扱われるロボット技術と、本論文のロボット技術の対象範囲が異なる点は留意が必要である。そこで本論文では、現在のスマート農業の要素技術である自動化技術とロボット技術を合わせて「自動化・ロボット技術」と総称する。

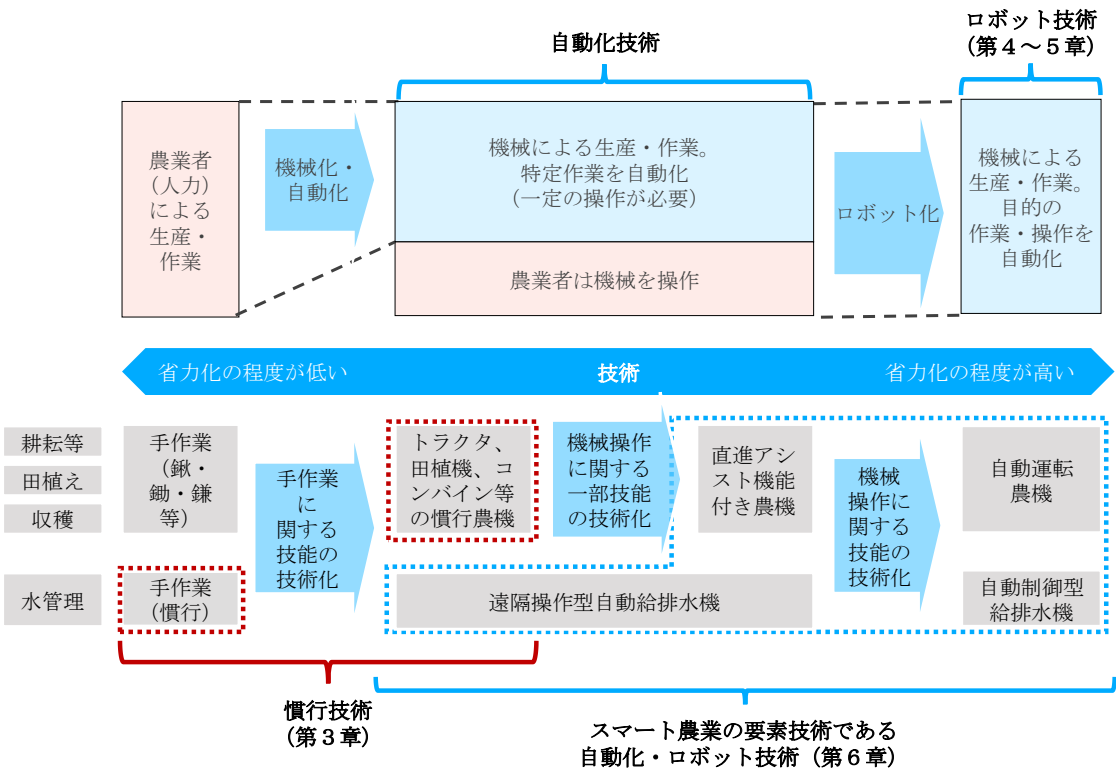


図 2-3 稲作における機械化・自動化・ロボット化と対象技術

資料：筆者作成。

注 1：主として農作業における感覚・運動系技能に着目した技術化の概念図を示す。作業判断・計画系技能の多くは経営者・管理者等に依存し、それら技能の技術化は主な対象ではない。

5. 自動化・ロボット技術の現状整理と位置づけ

主要な稲作作業である田植機やコンバイン、トラクタ等の農機作業や水管理における自動化・ロボット技術の概要を表 2-1 に示す。

ロボット技術が稲作法人経営に及ぼす影響を分析する第4～5章では、農林水産省（2016b、2020ac）等を参考に、将来実現が予想される、稲作主要作業（付随する作業や圃場間移動含む）を熟練者と同等の水準（作業時間・精度）で完全無人で実施できるロボット技術を仮想的に想定する。これはロボット農機が10年後、水管理用ロボットが5年後の実用化が予想される技術的な水準と考えられる。具体的には、ロボット技術の実施作業は、ロボット技術が予め設定されたプログラムに基づき、無人状態で、システムによって常時すべての作業・操作を行うことを想定した。例えば、ロボット農機は圃場内作業から公道走行を含む圃場外作業の一連の機械作業を、水管理用ロボットは圃場の給排水作業を、自律的に実施する。またその他の前提条件として、法的にはロボット農機が無人で公道走行可能となるように法改正されることが前提であり、水利条件として水管理用ロボットが常時稼働可能な条件（用水方法や用水量、利用可能時期等）となるように地域内で合意形成することが前提である。

自動化・ロボット技術の市販機（2020年10月時点）を整理すると、農機作業の自動化・ロボット技術は、農業者による圃場内もしくは圃場周辺での監視の下、無人状態で圃場内作業の一部自動化が可能である。また、水管理の自動化・ロボット技術は、圃場の給水口や排水口に設置し、農業者の設定した時間や水位に応じて給水や排水を自動で行うことが可能である。なお、モニター等での遠隔監視下で圃場間移動など公道走行を含む自動走行を可能とするロボット農機は、生産現場での実証が進められている（生物系特定産業技術研究支援センター2021）。

表 2-1 稲作主要作業に関する自動化・ロボット技術の概要

作業種類	田植機作業	コンバイン作業	トラクタ作業	水管理作業
本論文 第4～5章 における ロボット 技術の想定	● 一連の機械作業（圃場外周を含む圃場内作業や、公道走行を含む圃場間移動や作業準備などの圃場外作業）を自律的に無人で熟練者水準で実施可能^{（注1）} ● 基本的にシステムが周囲監視や非常時対応を行うため、農業者は稼働中に他作業に従事可能			● 給排水作業を自律的に無人で熟練者水準で実施可能 ● 農業者は水田水位や灌漑時間等の都度設定は不要で、稼働中に他作業に従事可能 ● 給排水を行うためには、給水用と排水用がそれぞれ1台ずつ必要
	移植労働時間 43%低減（補助労働含む） ^{（注2）} 湛水直播労働時間100%低減	収穫労働時間 35%低減（補助労働含む） ^{（注2）}	耕起耕耘や土壌改良（整地）、代かき、乾田直播の労働時間100%低減	水管理労働時間100%低減
自動化・ ロボット 技術の 市販機の 概要	● 圃場外周以外の圃場内作業を無人で実施可能（巡回含む） ● 農業者は圃場内もしくは圃場周辺で監視の上、一部作業（圃場外周作業や圃場間移動等）を有人で実施 ※ 遠隔監視（モニター等による目視外監視）の下、圃場間移動も含む自動走行農機を研究開発・実証中			● 水田水位上下限值や灌漑時間等の設定値に基づいて給排水作業を自動で実施 ● 農業者は圃場もしくは遠隔で給排水する水田水位上下限值や灌漑時間等を設定し、稼働中は他作業に従事可能 ● 給排水を行うためには、給水用と排水用がそれぞれ1台ずつ必要
	移植労働時間40～44%低減（補助労働含む）	収穫労働時間2～30%低減（補助労働含む）	代かき労働時間14～32%低減。 有人トラクタとの2台協調作業によって、耕起労働時間4～54%低減	水管理労働時間41～98%低減
慣行技術	● 農業者が農機に搭乗し、圃場内作業から圃場外作業までの一連の機械作業を有人で実施			● 農業者が圃場で給排水作業を手動で実施

資料：農林水産省（2016b、2020ac）や野口（2019b）、農林水産省・農研機構（2020）、山田（2018）、市販機（2020年10月時点）等を参考に筆者作成。

注1：2020年10月時点の制度では、ロボット農機の公道自動走行の際に一般車両通行止め等の措置が必要であるが、本論文では、無人で公道走行可能となるように法改正されることを前提にロボット農機を想定した。

注2：データの制約上、組作業を伴う田植機作業およびコンバイン作業におけるロボット技術は、圃場内作業と圃場間移動を自律的に行い、圃場間移動以外の圃場外作業は補助者が行う想定とした。

注3：各技術の労働時間低減割合について、本論文で想定するロボット技術は事例経営実績値に基づいた設定値、自動化・ロボット技術は公表されている実証データに基づいている。

6. 技能とロボット技術の関係

第4～5章で想定するロボット技術の前提（技術的な水準）に基づいて、農作業に関連する技能とロボット技術の関係を示したものが前掲の図 1-2 であり、加えて本節で言及した農業生産活動における技能・ノウハウ・技術の関係（図 2-2）や、機械化・自動化・ロボット化の過程（図 2-3）も踏まえたものが図 2-4 である。既存研究で明らかになっている稲作主要作業に関する技能に基づき、ロボット技術（具体的には、その要素技術）との関係を考察すると、本論文のロボット技術の前提では、南石（2015a）が大別した技能のうち感覚系技能はセンサー、運動系技能は駆動系技術、作業判断・計画系技能の一部は知能・制御系技術に主に対応すると考えられる（表 2-2）。また、南石（2015a、p.30）が「センサーは感覚系技能の一部を補完することはできるが代替することはできない」等と指摘しているように、センサーや駆動系技術はそれ単体では各技能に対応せず、知能・制御系技術も必要と考えられる。具体的には、センサーで収集した情報を特定の意図・目的に則して処理する知能系技術や、駆動系技術を収集情報の処理結果に基づいて制御する制御系技術が必要と考えられる。そして、各技能を技術化した要素技術を組合せ、知能化した機械システムがロボット技術と考えられる。

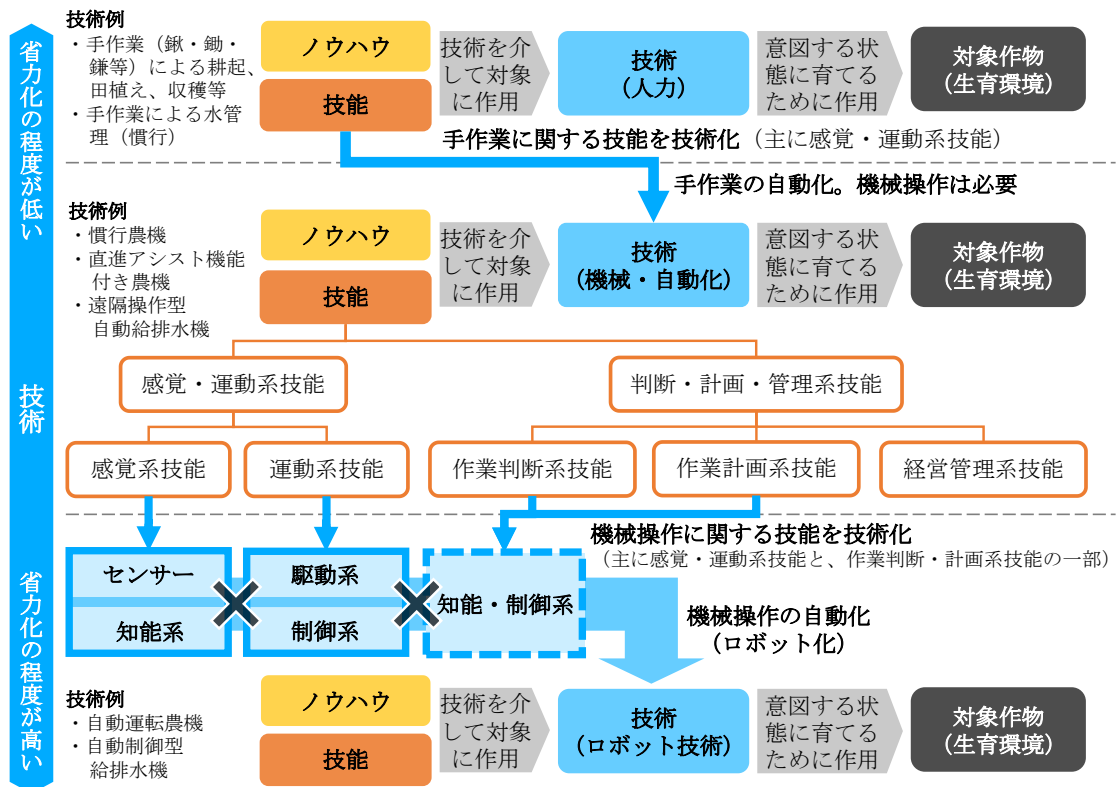


図 2-4 稲作における技能の技術化と機械化・自動化・ロボット化の関係

資料：技能区分は南石（2015a、p.29、図 2-4）から抜粋し、筆者が加工作成。

注 1：本論文で想定するロボット技術（その要素技術である知能・制御系技術）では、作業判断・計画系技能の一部の技術化に留まると考えられる。

表 2-2 想定される稲作主要技能とロボット技術（要素技術）の対応関係

	感覚系技能	運動系技能	作業判断・計画系技能 (一部)
技能 の 概要	五感（視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚）によって、作物や家畜の状態（生体情報）や、土壌や畜舎等の環境状態（環境情報）を把握する技能	感覚系技能をもとに、手腕を微妙に制御し、農業機械・施設等を意図したように運転操作する技能	農作業の適期・適量を判断する技能。作業の制約条件や優先順位を判断して、農場全体や特定部門の作業計画を作成・修正する技能
田植 機 作業	➤ <u>農機状態の把握</u>：五感を駆使して、農機の傾きや負荷等の稼働状態等を把握する技能 →<u>農機の稼働状態を計測可能なセンサー等で代替</u>	➤ <u>農機の運転（ハンドル操作）</u>：直進作業や旋回作業の速度・精度に関する技能 →<u>センサー等で収集した農機や作業対象のデータをもとに動作する自動操舵技術等で代替</u>	➤ <u>作業経路の判断</u>：田んぼの形状・状態に応じて経路を決める（圃場内での極短期の作業計画。例えば、代かきで、田んぼの左右で高低差がある場合は、横方向に走る） →<u>センサー等で収集したデータをもとに作業経路を判断する自動運転プログラム等で代替</u>
コン バ イン 作業	➤ <u>作業対象状態の把握</u>：五感を駆使して、作業対象の状態（圃場の状態、苗の植付状態、収穫水稻の倒伏状態等）を把握する技能 →<u>圃場・水稻状態を計測可能なカメラ等で代替</u>	➤ <u>作業機の操作</u>：農機や作業対象の状態に応じて作業機を操作する技能（例えば、代かきの旋回時にはクローラとハローの動きに時間差が生じることを考慮して作業） →<u>自動操舵技術と併せて、センサー等で収集した農機や作業対象のデータをもとに動作する作業機自動化技術等で代替</u>	
トラ クタ 作業			
水 管 理 作業	➤ <u>圃場状態の観察</u>：圃場の水位や水温等の圃場の状態を把握 →<u>水位や水温を計測可能な水田センサー等で代替</u> ➤ <u>水稻状態の観察</u>：水稻の生育状態を把握する技能 →<u>水稻状態を計測可能なカメラ等で代替</u>	➤ <u>給排水の実施</u>：生育ステージに応じた水位の調節 →<u>センサー等で収集したデータをもとに動作する自動給水・止水・排水アクチュエータ等で代替</u>	➤ <u>入水・落水時期の判断</u>：品質への影響、天気、圃場の土質等を考慮して判断 →<u>判断基準・アルゴリズムをプログラム等で代替（例えば、数種類の自動水管理メニューを提示し、それを圃場条件等に応じて設定）</u> ※判断基準の設定は農業者（技能）に依存

資料：南石（2015a）、梅本・山本（2010）、宮住ら（2014）、ロボット政策研究会（2006）、NEDO（2014）を参考に筆者作成。

注1：将来実現が予想されるロボット技術を想定する場合、表中にない（言語化されていない）技能も技術化されると考えられる。なお、技能は言語化されたらノウハウや技術になると捉える場合、表中の技能は既存研究で言語化された時点でノウハウや技術に変化したとも考えられる。

7. 技能水準

本論文では、稲作主要作業の作業能率に関する技能に着目し、その水準に応じて熟練者や初心者を設定する。この技能水準を推測する一つの指標として本論文では作業経験年数を用いた。気象条件等に左右される農業においては技能水準を客観的に測定することは容易ではないが（南石 2015b）、技能は「練習や経験の産物」であり「生得的なものではなく、練習や経験によって獲得されるものである」（松本 2003、p.30）ことから、この指標を一つの目安として用いる。ただし、川崎（2010）では、農家の就農年数等が技術力（これは技術・ノウハウ・技能を総称し、その水準を意図していると考えられる）の指標として既存研究で頻繁に用いられているが、必ずしも一対一の関係にあるわけではないとも指摘している。したがって、本論文では客観的な技能水準の測定困難性や川崎（2010）の指摘等があるものの、それらに留意しつつ、多くの既存研究と同様に技能水準を間接的かつ相対的に推測する一つの指標として作業経験年数を用いた。なお、稲作において、どの水準から熟練者になるのか、初心者の期間はいつまでなのか、等を明らかにした既存研究は見当たらないが、技能水準によって作業能率・内容や保有技能・ノウハウに明確な差異があることは既存研究で明らかになっている（例えば、宮住ら 2014 や南石・藤井 2015b）。

ここで各章の分析における技能水準の想定について述べる。第3章では、作業経験年数25年の農業者を熟練者、作業経験年数2年（作業経験数回）の農業者を初心者として分析する。これは技能水準別データの引用元である松倉ら（2015）に依拠している。ここで用いる技能水準別の作業能率データは実測データに基づいており、後述の通り、熟練者・初心者間で明確な差異が見られる。

第5～6章で対象とする事例の技能水準は、従事者の作業経験年数および当該事例の作業体制（従事者の多くは特定作業に専属）を鑑みると、熟練者に相当する技能水準と推察される。そのため、第5～6章では事例経営を熟練者経営と仮定して分析を行う。

第3章の事例経営は従事者の技能水準の層が初心者から熟練者まで厚く、技能向上効果を分析する上で適した事例と考えられる。一方、第4～5章の事例経営は従事者の技能水準分布が熟練者に集中し、農機稼働率を限界まで高めた効率的な水稻生産を実践していることに加え、スマート農業を先駆的に導入活用し、スマート農業実証プロジェクト（農林水産省 2022a）にも参画していることから、ロボット技術の導入効果の可能性（フロンティア）を分析する上で適した事例と考えられる。

他方、九州大学農業経営学研究室が実施した全国農業法人アンケートの回答結果（南石

2021) に基づいて分析する第 6 章について、分析対象経営の技能水準は営農開始後の経過年数から多様であると推察された。具体的には、稲作法人経営における営農開始後の経過年数を求めた結果、10 年以下は 12 法人 (14%)、11～20 年以下は 34 法人 (40%)、21～30 年以下は 19 法人 (23%)、31 年以上は 19 法人 (23%) であった (図 2-5)。また、営農開始後の経過年数の最小は 3 年、最大は 119 年、平均は 24 年であった。ここで、農業法人経営では営農開始後の経過年数が短くても熟練者を雇用することが可能であること、作付面積規模によって熟練者になるために必要な作業経験年数が異なること、経営継承等によって一時的にでも技能水準が低下する可能性があること等が考えられる。そのため、稲作法人経営における営農開始後の経過年数はあくまで技能水準を推測する指標の一つでしかない点は留意が必要であるが、営農開始後の経過年数の分布が幅広いことから技能水準も同様に多様であることが示唆された。

ところで、技能水準と関連する用語として「熟練度」が用いられる場合がある。『日本国語大辞典』(日本国語大辞典第二版編集委員会・小学館国語辞典編集部 2002、p.1108)によれば、「練度」の項に「学問や技術などを習得した度合。物事になれた程度。熟練度」と記されている。つまり、熟練度(練度)は技能・技術などの習得度合といえ、熟練度には技術の要素も含む。本論文では技能と技術を区別するため「熟練度」という用語は用いず、技能の習得度合を表す「技能水準」を用いる。

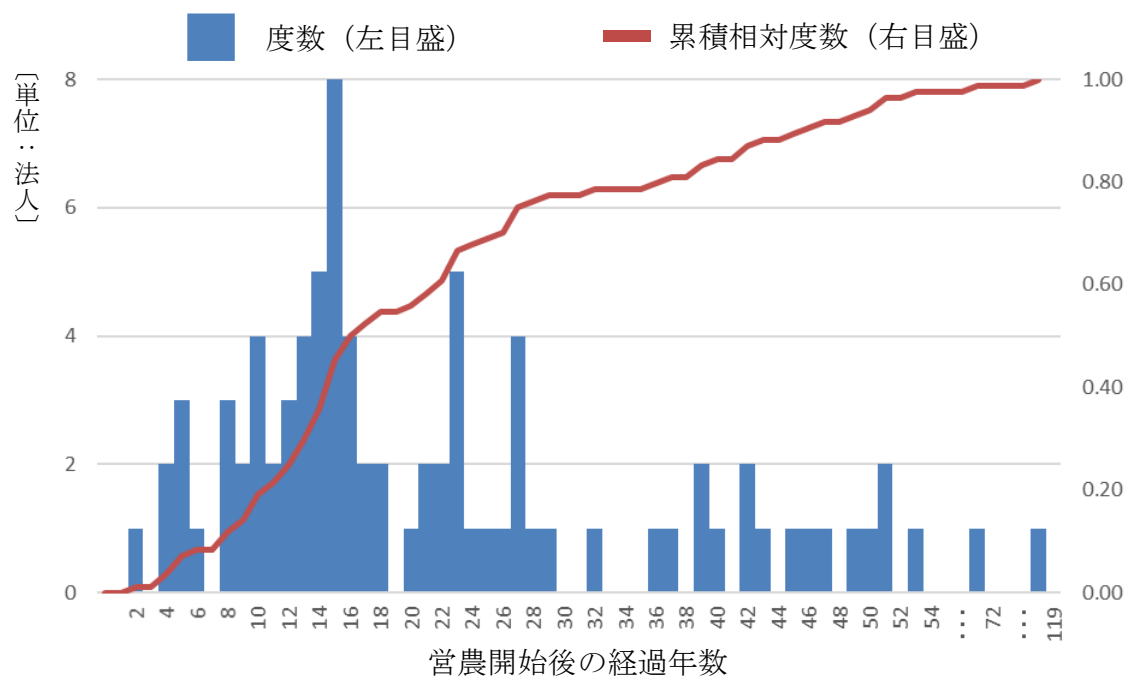


図 2-5 稲作法人経営における営農開始後の経過年数の分布

資料：九州大学農業経営学研究室が実施した全国農業法人アンケートの回答結果（南石 2021）より筆者作成。

注 1：n=84。

第3節 数理計画法

1. 経営的評価手法としての数理計画法

数理計画法を援用した農業経営研究は、「技術の経営的評価」、「営農計画」、「その他」に大別できる（ルハタイオパットら 2016）。そのうち「技術の経営的評価」における手法として、（１）技術構造分析（チェックリスト分析、経路分析、等）、（２）コスト・利益分析（生産費計算、コスト曲線分析、利益計算、損益分岐点分析、等）、（３）投資分析（資本回収期間法、現在価値法、等）、（４）数理計画法（線形計画法、目標計画法、確率的計画法、等）、（５）シミュレーション分析（作業シミュレータモデルやシステムダイナミックス（SD）モデル、回帰予測モデル、等）、（６）数量化法等（試算計画法：生産関数分析、費用関数分析、数量化法、AHP 法、ロジット分析、等）が挙げられる（農林水産省農業研究センター1995、梅本 1997、松本 2016b）。これら手法のうち比較的良好に用いられているのは数理計画法を用いた分析であり、その理由としては「経営目標が明示的に設定でき、経営内外の個々の条件を変更した場合の経営シミュレーション分析が行える」点にある（南石 2011、p.149）。本論文の第3～5章でも、技能水準や新技術導入の有無といった諸条件を変更した場合の経営シミュレーション分析ができ、それらが作付面積や年間総労働時間、経営費など経営全体の各指標に及ぼす影響を定量的に評価・分析することから、手法としてより適切と考えられた数理計画法を採用する。

一般的に、数理計画法を用いた技術の経営的評価の手順は図 2-6 のように整理できる（南石 1998a）。具体的には、評価・計画の視点（何を評価するか）に基づき、複数の条件設定を行い、一部係数などが異なるモデルを作成する。それらモデルから算出される最適解（最適営農計画：作付面積や労働時間、生産コストなど）を比較・分析することで、対象技術の評価や条件変更の効果を推定する。

このような従来からの技術の経営的評価に用いられた手法の視点は、自動化・ロボット技術の評価においても重要であることを松本（2019）が指摘している。具体的には、松本（2019、p.34）によると、水田作経営におけるロボット農機や水管理用ロボット等の「スマート農業技術の経営的評価は、従来からの農業技術の経営的評価に関する研究の延長線上」にあり、数理計画法を用いて「スマート農業技術を評価する場合でも、基本的には従来の農業技術に対する経営的評価の視点が重要」としている。

経営的評価は、技術を対象に行われることが多いが、同様の分析視角・手順で技能も評価できる。具体的には、技能水準に応じて条件設定を変更（例えば、初心者では作業能率

が低下する想定) し、それぞれで作成したモデルで算出した最適営農計画を比較分析することで、技能が経営に及ぼす影響を定量的に評価できる。

なお、本論文では稲作課題である生産コストについては経営費を、労働力不足については作業能率向上に伴う農業者 1 人あたり作付面積拡大可能性を見るため経営規模（作付面積）を経営的評価の指標として用いる。また、省力化技術の省力化の影響を見るため年間総労働時間も指標として用いる。

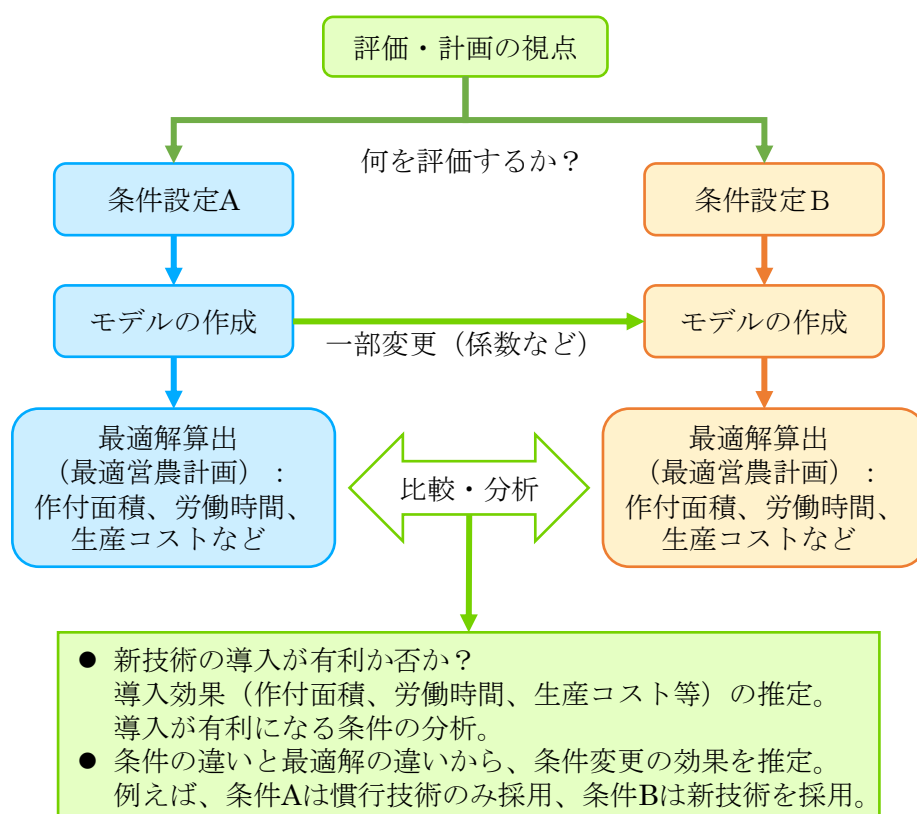


図 2-6 数理計画法による技術の経営的評価の手順

資料：南石（1998a、p.24、第2図）を参考に、筆者が加工・作成。

2. 数理計画法と農業リスク

(1) 数理計画法における農業リスク考慮の重要性

農業生産は一般的に気候・気象の影響を受けやすく、昨今、異常気象による農業被害が各地で発生する等、気候変動は農業経営にとって大きなリスク要因となっている（横内 2007、南石 2011、農林水産省 2018b）。将来的には、多くの中緯度の湿潤地域では極端な天候（大雨の頻度、強度、大雨の降水量の増加）と共に、年平均降水量が増加する可能性が高いとの指摘もある（IPCC 2017）。そうした中、気候変動に関連する農業界の動向として「Climate Smart Agriculture」があり、これは「気候変動下で持続可能な食糧安全保障の確保に向けた農業戦略開発アプローチ」（FAO 2021）とされている。このように、世界的にみても農業経営の気候変動適応が求められている状況といえる。

ここでリスクについて、南石（2011、p.56）に依拠すると、「人の福祉や経営状態に望ましくない影響を及ぼす可能性について正確に予見できない状態」と定義できる。加えて農業におけるリスクについては、生産過程で生じる生産リスクや、生産物や投入資材の販売や調達に関わる市場リスク等に大別できる（南石 2011）。特に、稲作等の土地利用型農業経営においては、生産リスクのうち、降雨条件等によって作業遅延や作業不能となるリスク（作業リスク）の回避が重要であることが指摘されている（南石 2002）。

土地利用型農業技術は農場の立地環境の影響を受けやすく、工業技術に比較し再現性が低く、状況依存性が高くなる（南石 2015b）。例えば、トラクタやコンバイン等の農機作業は作業前あるいは作業時の降雨条件に大きく左右され、作業リスクの影響を直接的に受ける。このような作業リスクの影響は、機械化技術（M 技術）の延長と捉えられる自動化・ロボット技術においても例外ではないと考えられる。

また、稲作をはじめとした土地利用型農業経営を対象にした経営的評価の場合、数理計画法による分析では作業リスクの考慮が不可欠であるといえる（南石 2000）。特に数理計画法で作業リスクを数式として明示的に組み込むか否かによって経営的評価の結果が大きく左右される。具体的には、作業リスクを考慮しないことで、実際は降雨等で作業が完遂できないような現実的ではない（実現可能性がない）最適農計画が得られ、経営的評価では過大評価になる可能性がある。このような作業リスクの影響は、稲作主要作業に関する技能やロボット技術の経営的評価においても例外ではない。そのため、これらを対象にした数理計画法による経営的評価において、作業リスクの視点を踏まえた分析が重要とい

える。

ところで、第4章では、従事者数が低減する場合でのシナリオ分析も行っている。労働力不足が課題として表出している昨今において、労働力確保が正確に予見できない点は労働力市場のリスクとも捉えられ、このシナリオは労働力市場に対するリスクを反映したシナリオ設定ともいえる。

(2) 数理計画法とリスク選好の関係

リスクの大小に対する農業経営の態度・方針（リスク選好）は農業経営によって千差万別であり、リスク選好によって経営資源の利用の仕方等も異なる（南石 2011）。農業経営においては、保険加入意向があることや多様化された農業システムを好むことなどの農業経営行動から、リスク回避的であることを見出すことができる（Hardaker et al. 2015）。加えて将来的な気候変動リスク増大への対応の観点から、本論文ではリスク選好が慎重な経営を想定した数理計画モデルから算出される最適営農計画を主として分析に用いる。しかし、第4～5章では既存研究との比較や導入効果の幅（閾値）を示すこと等を鑑み、リスク選好が強気な経営を想定した最適営農計画でも分析する。なお、第3～5章の事例経営のリスク選好の実態は、相対的に、第3章の事例経営は慎重で、第4～5章の事例経営は強気と考えられる。

数理計画法による分析におけるリスク選好は、降雨条件による機械作業可能時間制約（作業リスク制約）の設定方法で区別した。これはリスク選好の程度は連続的に変化するものであることから（南石 2011）、便宜的に制約条件の設定方法でリスク選好を区別している。具体的には、リスク選好が慎重な最適営農計画は、多雨年の降雨量を制約条件に組み込み算出した最適営農計画、つまり設定年次のどの降雨条件が生じても作業遅延・不能とならずに作業が実施できる最適営農計画とした。また、リスク選好が強気な最適営農計画は、平年降雨量等を制約条件に用いた最適営農計画、つまり平年水準の降雨条件のもとで作業が実施できる最適営農計画とした。

ところで、九州大学農業経営学研究室が実施した全国農業法人アンケートの回答結果（南石 2021）に基づいて分析する第6章における分析対象経営のリスク選好の分布は、ロボット技術の導入効果を分析する第4～5章で想定するリスク選好の範囲と概ね一致すると考えられた。分析対象とする稲作法人経営における経営管理のリスク選好をみると、「1.

リスクをできる限り小さくし、収益を得るように慎重に経営を行う」は 22 法人（23%）、
「2. 経営に負担のない範囲でのリスクを考え、収益を得るように経営を行う」は 54 法人
（56%）、「3. ある程度リスクを取ることで、収益を得るように経営を行う」は 19 法人
（20%）、「4. リスクを気にせず、収益を最大化するように経営を行う」は 2 法人（2%）
であった（図 2-7）。最も慎重な経営（1）と次点で慎重な経営（2）が太宗（79%）を
占め、ある程度リスクを許容する経営（3）も一定程度見られた。リスク選好の直接比較は
難しいが、ロボット技術の導入効果を分析する第 4～5 章で想定するリスク選好の慎重シ
ナリオと強気シナリオでは、最も慎重な経営（1）から、ある程度リスクを許容する経営（3）
を概ね含むと考えられた。したがって、ロボット技術や自動化技術を対象とする第 4～6
章において、想定・対象とする稲作法人経営は概ね一致すると考えられた。

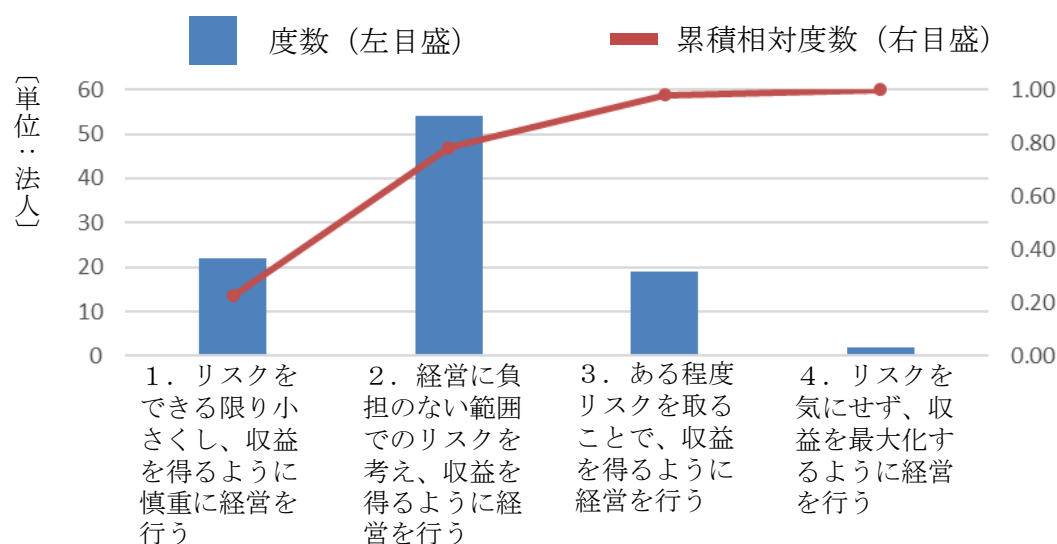


図 2-7 稲作法人経営におけるリスク選好の分布

資料：九州大学農業経営学研究室が実施した全国農業法人アンケートの回答結果（南石 2021）より筆者作成。

注 1：n=97。

3. 本論文で用いる数理計画モデルの概要

以上より、数理計画法を援用した経営的評価では、リスク考慮の重要性が高いといえる。そこで本論文の第3～5章では、作業リスクを明示的にモデルに組込むことが可能な数理計画システムである FVS-FAPS を用いる。FVS-FAPS は、営農技術体系評価・計画システム FAPS(南石 2002)の改良版(フォーマット拡張やユーザーインターフェース改良等)である。FVS-FAPS の基本的なモデルの数式構造は FAPS と一緒であり、目標計画法を採用している(モデル数式の詳細は南石 2003 を参照)。FVS-FAPS は降雨条件による作業リスクや保有経営資源などの経営規模拡大制約条件の下、経営目標を最大限達成する各技術体系の最適な組合せである最適営農計画を算出するシステムである。

また、FVS-FAPS において、作業リスクは数理計画モデルの制約条件の機械作業可能時間として考慮され、その年次変動を離散型確率変数と仮定している(南石 2011)。機械作業可能時間(旬別)の推計は、作業限界降水量(作業中、当日、作業前日、作業前々日)をもとに、作業可否を半日単位で計算し、これに労働日数率(=働く日数/旬日数)、1日・1人当たり労働可能時間、作業に使う機械台数を乗じて求める(南石 1998a)。詳細なアルゴリズムは南石(1998a、pp.61-62)や南石(2011、pp.267-271)を参照していただきたい。

本論文で構築する数理計画モデル(目標計画モデル)の概要を図 2-8 に示す。数理計画モデルの最優先経営目標は平均収益最大化(収益は、会社の利益と役員報酬の合計)とした。これは多くの既存研究で農家所得や会社利益の最大化を最優先目標とした数理計画法で分析が行われていること、既存研究との分析結果の比較をする際に可能な範囲で同じ条件にすることを目的として設定している。また、南石(2011、p.145)では、作業リスクを考慮した営農計画モデル(作業リスク中立型計画、作業リスク完全回避型計画)では、「最適化基準としては、一般に、平均値利益係数による平均収益最大化基準が用いられる」と述べている。加えて、八木(2019a)は、農業法人経営では社会的通年のもとで予め決められた必要経費(給与や労務費、地代、利子等)を差し引いた上で、なお利益を生み出すことが経営の第一義的な目的となっていると述べている。

平均収益最大化に次いで優先する経営目標として、年間総労働時間最小化や平均粗収益最大化、水稻作付面積最大化を設定している。また、経営規模拡大制約条件として労働力制約や機械作業可能時間制約(作業リスク制約)、土地制約、施設制約を設定している。なお、「目標および制約の区分は経営的な視点から便宜的に行ったのであり、目標計画モ

デルの定式化上では、すべて目標式として定式化している」（南石 2003、p.278）ため、制約式も含む全ての数式に優先順位（順位係数）や重み（加重係数）、差異変数を設定している。目的関数（リグレット関数）は

$$\text{Min} \sum_{j=1}^m P_j (w_j^+ d_j^+ + w_j^- d_j^-) \quad (1)$$

であり、 m は目標・制約数、 P_j は j 番目の目標式・制約式の優先順位、 w_j^+ および w_j^- は j 番目の目標式・制約式の重み、 d_j^+ および d_j^- は j 番目の優先順位の目標の差異変数である（南石 2003）。

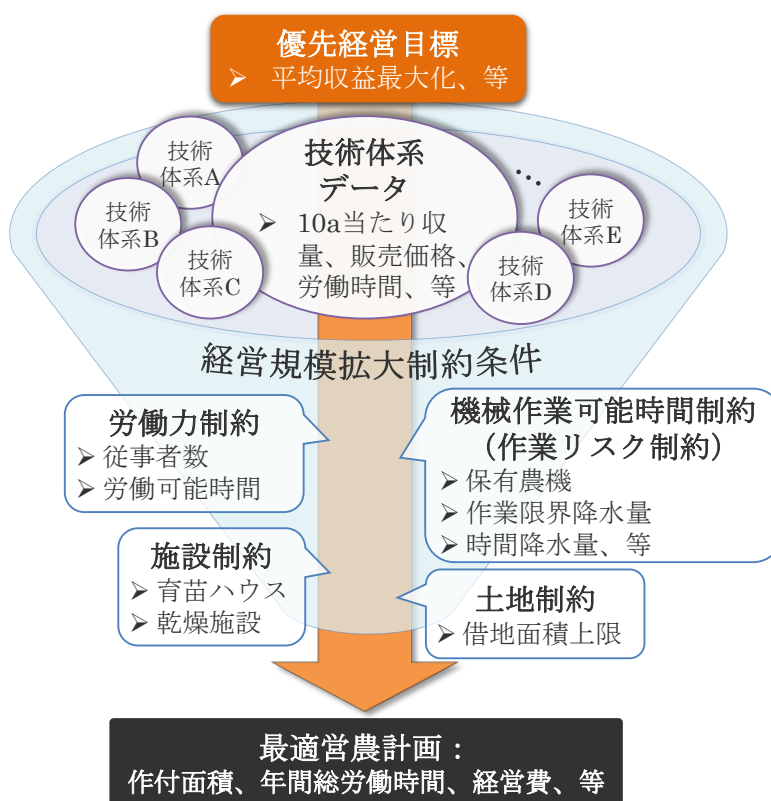


図 2-8 数理計画モデルの概念図

資料：筆者作成。

4. 数理計画モデルの現実妥当性の検証

数理計画モデルでは設定した係数や制約条件が妥当性を欠く場合、非現実的な「最適解」が得られることも多く（南石 2011）、「現実妥当性の検証を経ないモデルは、農業技術の経営評価に利用すべきでない」（南石 1995、p.37）との指摘もある。しかし、回帰モデルなどの統計的手法の場合は「決定係数や回帰係数の t 検定などのように、モデルの妥当性や精度を判断できる検定法が確立されている」（南石 2011、p.149）が、数理計画モデルの場合は「このような標準化されたモデルの妥当性検定法が確立されておらず、妥当性の検討は専門家のノウハウとして存在しているにすぎない」（南石 2011、p.150）状況である。このこともあり、構築した数理計画モデルの現実妥当性の検証方法について、具体的に言及した既存研究は多くない。そうした中、この点について言及した既存研究として、例えば、南石（1998b、2011）や大石（2017）があげられる。

そのうち、南石（2011、pp.149-152）ではモデル検証の考え方と、具体的な検証事例を示し、「実際の数理モデルの現実妥当性検討では、モデルの係数とモデルの構造の妥当性に着目する必要がある」と指摘している。これによると、モデル係数の妥当性検証について、「プロセス水準（作付面積等）が実績値をとる場合の部門別所得や旬別労働時間を試算し、これらの試算値と実績値との差を調べることが基本となる」としている。その目安として、「経験的には、部門別所得や旬別労働時間の試算値と実績値の差が 5%（最大 10%）程度であれば、モデルの妥当性は高いと言える」と述べている。また、モデルの構造（設定されている数式群）の妥当性検証について、「体系的な手法は確立されておらず、専門家の経験によるところが大きい」とした上で、「現状では、利益係数、労働係数、労働可能時間を実績値に設定した場合の最適解が現実的なものであるか経営者等に確認し、欠落している制約式がないかを検討することでモデル構造の妥当性が概ね判断できる」としている。

なお、大石（2017、p.45）が「構築した計画モデルの妥当性をチェックするのに、最適解で現状が再現されるか否かで判断する場合」があると指摘しているように、参考経営実績と数理計画モデル最適解の作付面積構成の比較からモデルの現実妥当性を検証する既存研究も見られる。しかし、参考経営から想定される経営目標や制約条件の下では参考経営の作付構成と最適解が必ずしも一致するとは限らない。そのため、本論文における数理計画モデルの現実妥当性の検証では南石（2011）を参考にしている。

第4節 計量経済モデル

1. 技術の導入活用要因に関する既存研究で用いられる分析手法

農業経営における技術の導入活用要因に関する既存研究では、判別分析や数量化 2 類、決定木分析、プロビット分析、ロジット分析等が用いられている（例えば、浅井・山口 1998、石戸 2016、上西ら 2022、川崎 2010、竹内・南石 2013）。判別分析は「複数の既知のグループがあるとき、観測された個体がどれに属するのかを見分けるモデルを作り、未知の個体が属するグループを予測する手法」である（栗原 2011、p.252）。判別分析によって判別係数が推定され、判別係数を用いて表される判別関数を解釈することで、グループ判別に重要な要因を明らかにできる。また、数量化 2 類は被説明変数および説明変数がともに質的データの場合の判別分析といえるが、説明変数の影響について統計的検定ができない（栗原 2011）。決定木分析は「標本を分類するルールを発見し、それを判別や予測に生かすことが目的」で、説明変数を階層的に組み合わせることで被説明変数を分類する手法である（栗原 2011、p.213）。

他方、プロビット分析やロジット分析は、原因となる複数の説明変数が、結果となる 1 つの被説明変数に対して、どのような影響を与えているかを明らかにできる。具体的には、説明変数のうちの k 番目の変数である X_{ki} が変化したときに、被説明変数 Y_i が 1 を取る確率がどのように変化するかを、限界効果として示すことが可能である（西山ら 2019）。なお、プロビット・モデルとロジット・モデルでの推定結果は、限界効果で比較するとあまり変わらないことが知られている（例えば、西山ら 2019）。

ロボット技術の効果的な導入活用に資する知見を得るためには、どのような要因が、どの程度、技術の導入活用に影響しているのかを解明することが有効と考えられる。そこで本論文の第 6 章では、自動化・ロボット技術の現在の導入活用状況を規定する要因と、その要因が現在の導入活用状況に及ぼす影響の程度を定量的に分析できるプロビット・モデルを用いる。

2. プロビット・モデル

西山ら（2019）より、プロビット・モデルは次式のように表すことができる。

$$\Pr(Y_i = 1 | X_{1i}, \dots, X_{ki}) = \Phi(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki}) \quad (2)$$

Y_i は被説明変数、 X_{ki} は説明変数、 β_k は係数、 i は観測値 ($i = 1, \dots, n$)、 n はサンプルサイズ、 k は説明変数の個数 ($k = 1, \dots, K$) である。(2) 式は、標準正規分布の累積密度関数 Φ を用いて、被説明変数 Y_i が 1 を取る確率 $\Pr(Y_i = 1|X_{1i}, \dots, X_{ki})$ を表している。プロビット・モデルでは、説明変数 X_{ki} が微小変化したときに、被説明変数 Y_i が 1 を取る確率がどのように変化するかを、限界効果として示すことができる (西山ら 2019)。

プロビット・モデルを導出する方法の一つとして潜在変数モデルがある。これは「研究者が実際には目にすることができないものの、被説明変数の取る値を決める連続変数が存在すると考えるモデル」である (西山ら 2019、p.338)。潜在変数モデルは、

$$Y_i^* = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ji} + u_i \quad (3)$$

$$u_i | X_{1i}, \dots, X_{ki} \sim N(0, 1)$$

と表せ、 Y_i^* は潜在変数で、 u_i は誤差項である (西山ら 2019)。この誤差項 u_i を「標準正規分布に従い、その分布は説明変数とは独立であると仮定」することで、潜在変数モデルからプロビット・モデルを導出できる (西山ら 2019、pp.339-340)。また、潜在変数 Y_i^* と被説明変数 Y_i は、

$$Y_i = \begin{cases} 0 & (Y_i^* \leq 0) \\ 1 & (Y_i^* > 0) \end{cases} \quad (4)$$

という関係を持っている (西山ら 2019)。つまり、プロビット・モデルは「説明変数によってつくられる線形の関数の取る値を、被説明変数の確率に変換する際に標準正規分布を使ったモデル」 (西山ら 2019、p.338) であり、「潜在変数 Y_i^* が 0 を超えるときに $Y_i = 1$ となり、そうでないときに $Y_i = 0$ となることを仮定したモデル」 (西山ら 2019、p.339) である。

ところで、プロビット・モデル等の質的選択モデルは、ミクロ経済学における確率効用理論が基礎となっている (佐野 1990)。確率効用理論に基づくと、意思決定者は、選択肢集合の中から最大効用を与える選択肢を選ぶと考えられ、以下のように定式化できる。

$$U_i = V(X_i, \beta) + e_i \quad (5)$$

U_i は選択肢*i*からの効用、 V は観測されている特性にもとづく効用部分（確定項）、 e_i は観測されていない未知の効用部分（確率項）である。この時、観測されない効用部分は意思決定者によって異なるが、観測されている効用部分は同一の特性であれば、同一になると仮定されている。

第5節 おわりに

本章では、本論文の主要な概念の定義や、対象の限定、分析手法の整理や考察を行った。具体的には、技能や技術、技能の技術化、ロボット技術等について整理、考察し、本論文の対象を限定した。また、分析手法として経営的評価手法や計量経済モデルについて言及し、第3～5章では数理計画法を、第6章ではプロビット・モデルを採用することを示した。以下の章では、これらに基づいて分析を行う。

第3章 稲作法人経営における技能向上のコスト低減効果 —作業リスクを考慮した数理計画法による分析—

第1節 はじめに

第1章で見たように稲作主要作業に関する技能が稲作法人経営に及ぼす影響を明らかにした既存研究は限られており、松倉ら（2015）では技能向上による生産コスト低減効果を農業リスク等も考慮した最適営農計画でも明らかにする必要性が述べられている。昨今の気候変動に伴う農業リスクの増大は、経営的評価研究における農業リスク考慮の重要性を増加させている。

そこで本章では、図 1-3 における「技能」の軸に着目し、稲作主要作業に関する技能が稲作法人経営の作付面積や労働時間、生産コストに及ぼす影響を定量的に明らかにする。具体的には、稲作主要作業の作業能率に関する技能に着目し、その技能水準による最適営農計画の差異を分析する。最適営農計画を算出する数理計画モデルは、松倉ら（2015）と同様に、滋賀県の農業経営指標や同県所在の先進大規模稲作法人経営（以下、A 法人）の実績データ等を参考に構築している。この数理計画モデルは、松倉ら（2015）の残された課題であった気象変動リスクや保有経営資源（農業機械・施設、農地、労働力等）を制約条件として明示的に組み込んでいる。

第2節 データおよび方法

1. 分析視角と想定する技能の前提条件

本章の研究課題に接近するために、技能水準に関するシナリオ分析を行った。具体的には、A 法人実績を参考にした実績シナリオに加え、技能水準別に初心者シナリオと熟練者シナリオを設定した。これら設定内容は松倉ら（2015）と同様であり、従事者全員の技能について実績シナリオは実績水準、初心者シナリオは初心者水準、熟練者シナリオは熟練者水準とした。このうち、初心者シナリオと熟練者シナリオは仮想的なシナリオ設定である。なお、各シナリオにおける従事者の作業経験年数について、A 法人 2012 年実績データに基づいて、実績シナリオは A 法人従事者の平均作業経験年数の 8.4 年、初心者シナリオは 2 年（作業経験数回）、熟練者シナリオは 25 年となる従事者を想定した。

表 3-1 に、本章で用いた技能水準別の作業能率（10a 当たり作業時間）を示す。これは松倉ら（2015）の利用データと同様である。実績データは A 法人の作業記録等に基づい

ており、初心者データは作業経験が数回の A 法人従業員、熟練者データは作業経験が 25 年の A 法人経営者のタイムスタディ等に基づいている。技能水準を考慮する作業は稲作主要作業とし、その作業項目は、土壌改良や荒代などトラクタを用いる作業（8 種類）、田植機を用いる移植、コンバインを用いる収穫、そして水管理とした。これら作業について、実績に加え、初心者、熟練者の技能水準別作業能率を設定した。技能水準別の 10a 当たり作業時間合計は、初心者で 12.85 時間/10a、実績で 6.76 時間/10a、熟練者 4.95 時間/10 a となっており、A 法人の実績の技能水準は熟練者に近いことが伺えた。このように技能水準によって作業能率に差異が見られる要因として、例えば、田植機・移植では苗詰まり、コンバイン・収穫ではこぎ胴の詰まり等、初心者の操作不慣れによる機械トラブルや、トラクタ・代かきの際の巡航速度、ターンの所要時間、周回数等への技能水準の影響があげられる（松倉ら 2015）。技能水準別の年収は、A 法人へのヒアリング調査を参考に、初心者で 240 万円、実績水準の従事者で 375 万円、熟練者で 475 万円とした。

なお、A 法人では畦畔除去による圃場大区画化（平均圃場面積約 55a）や、複数台の大型農業機械の導入など、平坦地域の立地条件を活かした水田農業を営んでおり（松倉ら 2015）、このような条件下で収集した技能水準別データとなっている。また、技能水準別の作業能率（10a 当たり作業時間）には圃場間移動等に係る作業時間も含んでいる。

表 3-1 技能水準別の作業能率

主要 使用機械	作業項目	作業能率：10a当たり作業時間 (時間/10a)			初心者作業能率の熟練者比 (A) / (B)	
		初心者 (A)	実績	熟練者 (B)	作業項目別	使用機械別 平均
トラクタ	土壌改良	0.32	0.14	0.11	2.91	2.69
	秋耕1（秋堀）	0.45	0.20	0.16	2.81	
	秋耕2（冬堀）	0.57	0.26	0.21	2.71	
	ディスク戻し	0.43	0.19	0.15	2.87	
	春耕	0.59	0.26	0.21	2.81	
	荒代	0.54	0.24	0.19	2.84	
	代かき	0.66	0.36	0.29	2.28	
	畦塗り	0.75	0.33	0.33	2.27	
田植機	移植	0.67	0.48	0.24	2.79	2.79
—	水管理	7.00	4.00	2.80	2.50	—
コンバイン	収穫	0.87	0.30	0.26	3.35	3.35
合計		12.85	6.76	4.95	2.60	—

資料：A 法人実測データより算出・推計した松倉ら（2015）より抜粋し、筆者が加工作成。

注1：実績データは作業記録等に基づいて算出。初心者データは作業経験が数回のA法人従業員、熟練者データは作業経験が25年のA法人経営者のタイムスタディ等に基づいて推定。

注2：作業能率（10a 当たり作業時間）には圃場間移動等の時間も含む。

2. 数理計画モデルの概要

本章の数理計画モデルで仮定した農業経営像は、滋賀県所在の先進大規模稲作法人経営である。具体的には、A 法人を参考に、従事者数 17 人、田地が全て借地（地代 1.0 万円/10a）で作付面積規模 150ha の稲作法人経営を仮定した。

数理計画モデルの構築には FVS-FAPS を用いた。本モデルの最優先経営目標は平均収益最大化（収益は、会社利益と役員報酬の合計）を設定した。また、制約条件として労働力制約、機械作業可能時間制約（作業リスク制約）、土地制約、施設制約を設定した。

表 3-2 に本モデルの構築データの概要を示す。品種・作期別の技術体系データ（10a 当たりの収量、販売価格、費目別変動費、作業項目別労働時間、機械作業時間等）は、松倉ら（2015）と同様に、滋賀県が作成した『農業経営ハンドブック』（滋賀県農政水産部 2012）および A 法人の 2012～2013 年実績データを参考に設定した。なお、単収・単価に関しては、A 法人 2012 年実績データに一部欠損が見られたため、A 法人 2013 年実績データを使用している。

具体的な品種・作期別の技術体系データは表 3-3 に示す。例えば、「あきたこまち・4 月下旬」では、主な作業として移植を 4 月下旬に、収穫を 8 月中旬に行う設定である。また、10a 当たり利益係数（＝売上高－変動費）は 11.9 万円/10a、単収は 510.0kg/10a、10a 当たり労働時間（実績シナリオ）は 13.1 時間/10a を設定した。なお、技術体系によって設定値が異なる点は、品種によって単収や販売価格、使用資材量・種類等が異なることに起因する。また、松倉ら（2015）と同様に、技術体系別労働時間について一部データが得られなかったものもあるが、A 法人への追加ヒアリング調査により可能な範囲でデータ精度を向上させた。

表 3-2 数理計画モデルの構築データ概要

項目			内容
品種・作期別の技術体系データ			• 10a当たり収量 • 10a当たり販売価格 • 10a当たり費目別変動費 • 10a当たり作業項目別労働時間 • 10a当たり機械作業時間 等
	品種		10品種
	技術体系		18技術体系
制約条件： 保有経営資源等	労働力制約		• 従事者数：17人 • 労働可能時間：平均9.0時間/日・人
	機械作業 可能時間 制約	保有 農機	• 田植機 5台 • コンバイン 4台 ※機械作業項目ごとに作業限界降水量を設定
	・作業リスク 制約	降水量	滋賀県彦根市付近の 過去20年間（1996年～2015年）における 1時間毎の降水量データ
	土地制約		• 作付面積の規模拡大上限200ha • 田地は全て借地（地代1.0万円/10a）
	施設制約（注1）		• 乾燥施設：処理能力370t/旬 ※増設費用2.7万円/tで最大100t/旬増設可能
本章における経営費（注2）			経営費＝変動費（種苗費や肥料費など） ＋支払い雇用労賃（時給換算） ＋支払い地代＋固定費＋乾燥機増設費用

資料：滋賀県農政水産部（2012）およびA法人実績データ（2012～2013年）、松倉ら（2015）、気象庁（2016）を参考に筆者作成。

注1：乾燥施設は増設可能な設定とした。そのため、実質的な制約条件は乾燥処理能力470t/旬である。

注2：本章における経営費には、光熱動力費（変動費）を含み、資本利子見積額は含まない。そのため、松倉ら（2015）における生産コスト（定義は以下）とは一部異なる。松倉ら（2015）における生産コスト＝固定費＋変動費（光熱動力費含まない）＋労賃支払額＋地代支払額＋資本利子見積額

表 3-3 技術体系データの概要

技術体系名 (注1)		3月		4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月		11月		12月		...	利益 係数 (万円 /10a)	単収 (kg /10a)	10a当たり労働時間 (時間/10a)		
品種	作期	中旬	下旬	中旬	下旬	中旬	下旬	中旬	下旬	中旬	下旬	中旬	下旬	中旬	下旬	中旬	下旬	中旬	下旬	中旬	下旬				初心者 シナ リオ	実績 シナ リオ	熟練者 シナ リオ
あきた こまち	4月 下旬	R L PT	.....	R L PT	.....	W	.....	L G	.....	L R F	.....	L H DAS	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....	PT	.....		11.9	510.0	20.1	13.1	10.5
	5月 中旬	R L PT	.....	R L PT	.....	T W	.....	L G	.....	L R F	.....	L H DAS	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....	PT	.....		11.9	510.0	20.1	13.1	10.5
キヌ ヒカリ	5月 下旬	L R PT	.....	L R PT	.....	A WM	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	※	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		12.7	556.6	20.1	13.1	10.5
	6月 月上旬	L R PT	.....	L R PT	.....	T WM	.....	R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	※	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		12.7	556.6	20.1	13.1	10.5
コシ ヒカリ	5月 中旬	L R PT	.....	L R PT	.....	WM A	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		16.1	502.7	20.1	13.1	10.5
	6月 月上旬	L R PT	.....	L R PT	.....	T WM	.....	R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		9.5	617.8	20.1	13.1	10.5
にこまる	6月 中旬	L R PT	.....	L R PT	.....	WM A	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		9.7	617.8	20.1	13.1	10.5
	6月 中旬	L R PT	.....	L R PT	.....	WM A	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		9.7	617.8	20.1	13.1	10.5
ヒメ ノモチ	5月 月上旬	L R PT	.....	L R PT	.....	T WM	.....	R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	※	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		8.1	626.4	20.1	13.1	10.5
	5月 月中旬	L R PT	.....	L R PT	.....	WM A	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		6.4	626.4	20.1	13.1	10.5
	5月 月下旬	L R PT	.....	L R PT	.....	WM A	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		8.1	626.4	20.1	12.8	10.5
ミルキー クイーン	5月 中旬	L R PT	.....	L R PT	.....	A WM	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	※	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		15.7	502.7	20.1	13.1	10.5
	5月 月上旬	L R PT	.....	L R PT	.....	T WM	.....	R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		9.7	714.4	20.1	13.4	10.5
ゆめ おうみ	5月 中旬	L R PT	.....	L R PT	.....	WM A	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		9.7	714.4	20.1	13.1	10.5
	6月 月中旬	L R PT	.....	L R PT	.....	WM A	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		11.9	505.3	20.1	13.1	10.5
玉栄	6月 中旬	L R PT	.....	L R PT	.....	WM A	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		11.5	540.0	20.1	13.1	10.5
	5月 月上旬	L R PT	.....	L R PT	.....	WM A	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		8.2	579.7	20.1	13.1	10.5
日本晴	5月 中旬	L R PT	.....	L R PT	.....	WM A	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		8.2	579.7	20.1	13.1	10.5
	6月 中旬	L R PT	.....	L R PT	.....	WM A	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		7.6	579.7	20.1	13.1	10.5
	6月 中旬	L R PT	.....	L R PT	.....	WM A	.....	SP R W	.....	L R G	.....	L H DAS	.....	.....	.....	SI	.....	PT	.....	SI	.....		7.6	579.7	20.1	13.1	10.5

資料：滋賀県農政水産部（2012）およびA法人実績データ（2012～2013年）を参考に筆者作成。

注1：各記号は作業項目を示す。育苗：R、畦畔管理：L、耕起耕耘：PT、荒代：A、水管理：WM、代かき：SP、移植：T、除草：W、溝切り：G、施肥：F、収穫：H、乾燥・調製・出荷：DAS、土壌改良：SIである。一部の技術体系は販売を年間通して行う設定とし、DASの後に※を示す。また、技能を考慮する作業項目のうち、秋耕1（秋堀）や秋耕2（冬堀）、ディスク戻し、春耕は耕起耕耘：RTに、畔塗りは畦畔管理：Lに含む。

数理計画モデルの制約条件に使用する保有経営資源は、A 法人や松倉ら（2015）等を参考に設定した。

労働力制約は、1 日・1 人当たり労働可能時間および従事者数、旬労働日数から算出した旬別労働可能時間を設定した。従事者数は 17 人、1 日・1 人当たり労働可能時間は平均 9.0 時間/日・人とした。1 日・1 人当たり労働可能時間について、日中時間から食事や休憩などの生活時間を差し引いた時間とし、日中時間は A 法人所在地域の緯度から算出した。旬労働日数は、旬日数 10 日もしくは 11 日（2 月下旬のみ 8 日）から旬別休暇日数 1.43 日を差し引いた日数とした。なお、年末年始やお盆の休暇を考慮したため、その時期は旬労働日数が短い。

機械作業可能時間制約（作業リスク制約）は、田植機およびコンバインの農機作業について設定した。機械作業可能時間は、労働可能時間や作業別作業限界降水量、時間降水量等から推計した。作業可能な降水量の上限値である作業限界降水量は南石（2011）を参考に設定した。具体的には、田植機による移植作業では作業限界降水量を作業中 5mm/5 時間、当日 10mm/午前 0 時～8 時、前日 30mm/1 日、前々日 50mm/1 日、コンバインによる収穫作業では作業中 1mm/5 時間、当日 3mm/午前 0 時～8 時、前日 15mm/1 日、前々日 25mm/1 日とした。また、時間降水量はアメダスによる観測値（気象庁 2016）より、滋賀県彦根市付近の過去 20 年間（1996 年～2015 年）における 1 時間毎の降水量データを用いた。作業リスクを考慮する保有農機は、松倉ら（2015）における実績シナリオ作付面積 150ha での試算結果を参考に、田植機 5 台、コンバイン 4 台を設定した。

これらで推計する機械作業可能時間を用いて、作業リスクに慎重な経営を想定した作業リスク制約を設定した。具体的には、過去 20 年間（2000 年～2019 年）の年次別旬別機械作業可能時間の「最小値」を作業リスク制約として適用した。つまり、過去 20 年間のどの年次の降雨パターンが生じても、作業遅延・不能とならずに機械作業が実施できる慎重な最適農計画を算出する設定とした。

土地制約は、作付面積規模拡大の上限を 200ha とした。

施設制約は、乾燥施設について、乾燥処理能力 370t/旬を設定した。なお、この処理能力を超過する収穫量となる作付計画の場合、増設費用 2.7 万円/t で最大 100t/旬増設可能な設定とした。したがって、乾燥施設の実質的な制約条件は乾燥処理能力 470t/旬である。

最後に、本章では生産コストの指標として「経営費」を用いた。経営費の内訳は変動費、支払い雇用労賃、支払い地代、固定費、乾燥施設増設費である。変動費は種苗費や肥料費

など全 10 種からなる。変動費のうち光熱動力費について、松倉ら（2015）では含まれていなかったが、本章ではデータを入手できたため変動費に含めた。雇用労賃は稲作生産部門のみを考慮するため、労働可能時間を全部門の労働時間と仮定し、それで年収を除して時給換算にした。これに数理計画法で算出された最適営農計画の年間総労働時間を乗じたものを稲作生産部門の支払い雇用労賃とした。また年収は初心者シナリオで 240 万円、実績シナリオで 375 万円、熟練者シナリオで 475 万円とした。なお、年収の時給換算は松倉ら（2015）と可能な限り条件を揃えて生産コストの比較を行うための処置でもある。固定費は機械固定費と施設固定費からなる。乾燥機増設費用については、保有乾燥機の旬当たり処理能力（生粃乾燥可能量）370t/旬を超過する作付計画の場合、その超過分に乾燥機増設費用 2.7 万円/t を乗じて試算した。なお、本章の「経営費」はデータ精度向上やデータ制約のため、松倉ら（2015）の「生産コスト」とは一部異なる点は留意が必要である。

3. 数理計画モデルの現実妥当性の検証

以上より構築した数理計画モデルについて、現実妥当性を検証した。ここでは分析の基準となる実績シナリオを想定した数理計画モデルを用いた。モデル係数の現実妥当性の検証では、A 法人 2012 年作付面積実績に基づいて実績試算値を求め、A 法人 2012～2013 年の実績値を比較した。また、モデル構造の現実妥当性の検証では、A 法人経営者へのヒアリング調査等を通して、最適作付計画などの最適解が妥当なものであるか否かについて確認を行った。なお、モデルの現実妥当性を確認する上で、実績試算値と実績値の乖離が最大 10%程度であればモデル係数の現実妥当性が高いといえ、最適解が現実的なものであるか経営者等に確認することでモデル構造の妥当性の判断ができる（南石 2011）。

検証の結果、モデルの係数について、実績試算値と実績値（2012～2013 年）の差は、玄米収穫量で最小 2%、売上高で最大 7%となり、差が 10%以下であることから、本モデルの係数は現実妥当性があると判断した。次に、モデルの構造について、実績シナリオの最適作付面積は 166.5ha となり、A 法人 2012 年作付実績の 150ha と概ね同じ規模であった。また、A 法人経営者からも最適作付計画などの最適解が、概ね現実的な結果であるとの感想を得た。したがって、これらの点から本モデルの構造は現実妥当性があると判断した。以上より、本章で用いる数理計画モデルは、係数および構造の両面から一定の現実妥当性があると判断した。

ただし、労働時間等については、データ制約のため A 法人実績値と比較検証はできな

った。しかし、本章では松倉ら（2015）との結果比較のため同様のデータを用いていることや、その他のモデル係数・構造について現実妥当性があると判断できたことから、分析を行う上で大きな問題はないと判断した。

4. 分析手順

技能水準シナリオ毎に最適営農計画を算出し、技能が稲作法人経営に及ぼす影響を分析する。

第一に、分析の一助とするため、実績シナリオの最適営農計画を分析した。具体的には、最適作付面積や年間総労働時間、経営費等を俯瞰した。また、実績シナリオで算出した最適営農計画で得られた以上の収益向上を目指す際にボトルネックとなる制約条件を整理した。

第二に、技能が最適作付面積、一人当たり年間総労働時間、玄米 1kg 当たり経営費に及ぼす影響を分析した。なお、経営管理では、小売価格との関係を明確に意識するために「玄米 1 kg 当たり」でコストを認識することが重要であるとの指摘（南石 2015c）に基づき、本章では玄米 1kg 当たり経営費を指標として用いた。

第三に、技能向上によるコスト低減効果について、松倉ら（2015）の試算計画法による分析結果と比較検討した。ここで、松倉ら（2015）は試算計画法による分析に、営農技術体系データベースを用いた営農計画支援システム FAPS-DB を用いている。FAPS-DB は、設定した作付計画を実行するために必要となる経営資源や、想定される収益・費用を推定する営農指標作成システムである（南石 2011）。一方、本章の数理計画法による分析で用いる FVS-FAPS は、保有する経営資源や作業リスク等の各種制約条件の下、経営目標を最大限達成する最適な営農計画を算出するシステムである（南石 2011）。したがって、数理計画法と試算計画法は分析方法が異なるため、同様のデータを用いたとしても算出される結果が異なる。そのため、両手法で技能向上によるコスト低減効果を検証することで、その一般化に貢献できると考えられる。

なお、稲作主要作業に関する人材育成は OJT（On the Job Training）が多くを占め、そのコストは限定的であると考えられるうえ、同一時点での技能水準が異なる経営を仮想的に想定したシミュレーション分析を行うため、本分析では人材育成コストを考慮していない。

第3節 結果および考察

1. 実績シナリオにおける最適営農計画

各シナリオにおける最適営農計画（一部抜粋）を表 3-4 に示す。また、その時の旬別労働時間を図 3-1 に、旬別機械作業時間を図 3-2 に示す。ここでは、基準シナリオの最適営農計画に着目する。

実績シナリオでは、最適作付面積（合計）が 166.5ha であり、技術体系別の作付面積（上位3つ）は「キヌヒカリ・6月上旬」と「ヒメノモチ・5月上旬」で 37.8ha、「コシヒカリ・5月中旬」で 32.9ha であった。その他の経営指標をみると、玄米収穫量は 987.2t、売上高は 2.5 億円、年間総労働時間は 21886.3 時間、経営費は 16071.0 万円であった。この慎重な作付計画では、過去 20 年間の降雨条件で作業遅延・不能は全く（1 旬も）発生しない。

さらなる収益向上のボトルネックは、労働力制約の移植時期（2 旬：5月上旬、5月中旬）と収穫時期（3 旬：8月中旬、8月下旬、9月中旬）、作業リスク制約の田植機・移植（1 旬：5月中旬）とコンバイン・収穫作業（3 旬：9月上旬、9月下旬、10月上旬）であり、土地制約や施設制約はボトルネックではなかった。

本章では各種制約条件下で、平均収益（会社利益と役員報酬の合計）の最大化を優先経営目標とする最適解を算出しているため、技術体系はそれぞれの農作業スケジュールや利益係数を総合的に考慮して選択されている。そのため、結果的に各シナリオで作付される技術体系は、利益係数が高いものから優先して作付される傾向が顕著に見られた。これに対して松倉ら（2015）の試算計画法では、A 法人 2012 年実績の各技術体系別作付面積比率に基づき、作付面積規模が増加しても作付面積構成比率が一定に維持される前提で分析を行っている。

ところで、本論文の問題意識に基づいた分析指標ではないが、収益（会社利益と役員報酬の合計）をみると、初心者シナリオに比較し実績シナリオや熟練者シナリオでは大幅に増加しており（表 3-4）、技能向上は収益向上に繋がることが示唆される。

表 3-4 シナリオ別の最適営農計画（一部抜粋）

分析シナリオ		初心者 シナリオ	実績 シナリオ	熟練者 シナリオ	参考： A法人 実績試算 (注1)
技術 体系 別 作 付 面 積 「 h a 」	あきたこまち・4月下旬	0.0	10.4	0.0	1.7
	あきたこまち・5月中旬	7.9	3.4	17.6	0.0
	キヌヒカリ・5月下旬	0.0	0.0	41.2	0.0
	キヌヒカリ・6月上旬	18.1	37.8	0.0	18.1
	コシヒカリ・5月中旬	11.3	32.9	38.0	9.3
	にこまる・6月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0
	にこまる・6月中旬	10.0	29.1	33.6	6.2
	ヒメノモチ・5月上旬	20.0	37.8	42.1	0.0
	ヒメノモチ・5月中旬	0.0	0.0	0.0	0.0
	ヒメノモチ・5月下旬	0.0	0.0	0.0	41.7
	ミルキークイーン・5月中旬	0.0	0.0	0.0	13.4
	ゆめおうみ・5月上旬	5.2	8.8	17.4	30.4
	ゆめおうみ・5月中旬	0.0	0.0	0.0	0.0
	羽二重糯・6月中旬	0.0	0.0	0.0	10.2
	玉栄・6月中旬	0.0	0.0	0.0	2.0
	日本晴・5月上旬	0.0	0.0	0.0	14.8
	日本晴・5月中旬	0.0	6.2	0.0	0.0
	日本晴・6月中旬	0.0	0.0	0.0	2.2
経営 指 標	最適作付面積（合計） [ha]	72.6	166.5	189.9	150.0
	玄米収穫量 [t]	431.4	987.2	1134.8	924.5
	売上高 [億円]	1.1	2.5	2.9	2.1
	年間総労働時間 [時間/年]	14577.2	21886.3	19981.5	19646.4
	経営費 [万円]	9967.8	16071.0	17664.5	15092.7
	収益 ^(注2) [万円]	840.2	9002.2	11089.8	6357.9

資料：FVS-FAPS を用いた分析結果より筆者作成。

注1：各技術体系の作付面積の水準を A 法人の実績値（2012 年）に固定した時の値である。

注2：収益は会社利益と役員報酬の合計である。

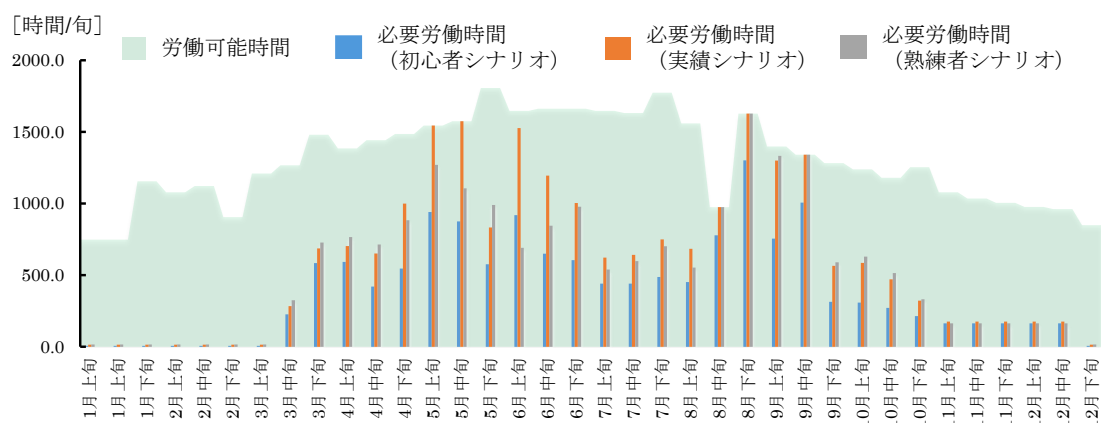


図 3-1 技能水準別の最適営農計画における旬別労働時間

資料：FVS-FAPS を用いた分析結果より筆者作成。

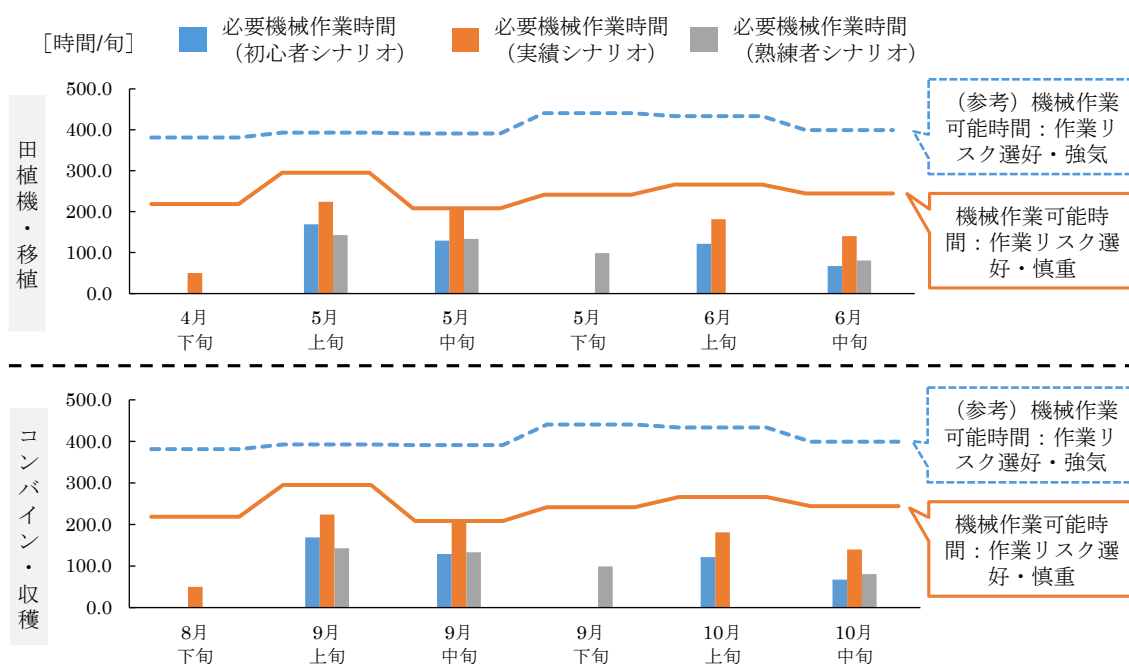


図 3-2 技能水準別の最適営農計画における旬別機械作業時間

資料：FVS-FAPS を用いた分析結果より筆者作成。

注 1：「機械作業可能時間：作業リスク選好・慎重」は、機械作業可能時間の最小値であり、過去 20 年間（1996 年～2015 年）のいずれの降雨パターンにおいても、作業遅延・不能とならずに作業が可能な時間を示す。なお、参考として、「機械作業可能時間：作業リスク選好・強気」を示し、これは同 20 年間の機械作業可能時間の平均を示す。

2. 技能が最適作付面積に及ぼす影響

技能が最適作付面積（以下、すべて合計）に及ぼす影響を図 3-3 に示す。

最適作付面積は、実績シナリオで 166.5ha であったが、初心者シナリオでは 82.6ha に 56.4%減少し、熟練者シナリオでは 189.9ha に 14.1%増加した。また、初心者シナリオからの技能向上を想定すると、最適作付面積は実績シナリオで 129.2%増加し、熟練者シナリオで 161.5%増加した。

実績シナリオに比較し、初心者シナリオでは最適作付面積が小さく、熟練者シナリオでは大きくなった要因は、ボトルネックとなった移植・収穫時期の作業能率の変化が考えられた。実績シナリオのボトルネックは、前述の通り、移植・収穫時期の労働力制約と作業リスク制約であった。本章における技能は田植機・移植やコンバイン・収穫等の作業能率に影響すると想定しており、作業能率が低下（10a 当たり作業時間が増加）した初心者シナリオでは最適作付面積が小さくなった一方、作業能率が向上（10a 当たり作業時間が低下）した熟練者シナリオでは最適作付面積が大きくなったと考えられた。

以上より、ボトルネックとなっている稲作主要作業に関する技能向上は、最適作付面積の増加に繋がることが明らかになった。なお、実績水準の作業能率は、初心者よりも熟練者の作業能率に近かったため、実績シナリオから熟練者シナリオへの変化よりも、初心者シナリオから実績シナリオへの変化の方が大きい結果になったと考えられた。

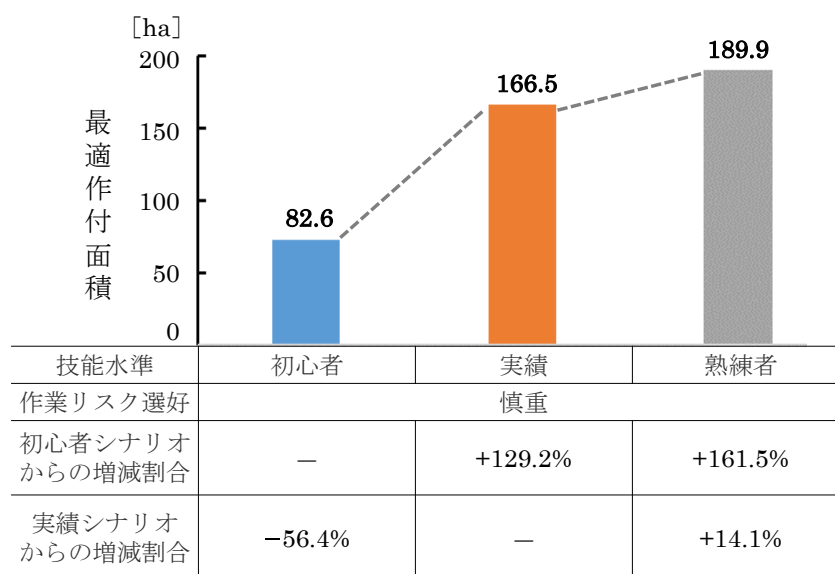


図 3-3 技能が最適作付面積に及ぼす影響

資料：FVS-FAPS を用いた分析結果より筆者作成。

3. 技能が1人当たり年間総労働時間に及ぼす影響

技能が1人当たり年間総労働時間に及ぼす影響を図3-4に示す。

1人当たり年間総労働時間は、実績シナリオで1287.4時間/人であったが、初心者シナリオでは857.5時間/人に33.4%減少し、熟練者シナリオでは1175.4時間/人に8.7%減少した。また、初心者シナリオからの技能向上を想定すると、1人当たり年間総労働時間は実績シナリオで50.1%増加し、熟練者シナリオで37.1%増加した。

実績シナリオに比較し、初心者シナリオで1人当たり年間総労働時間が減少した要因は、年間総労働時間を規定する最適作付面積の低減割合が大きかったためと考えられた。また、実績シナリオに比較し、熟練者シナリオでは大きくなった要因は、技能向上によって最適作付面積が増加したものの、技能向上による作業能率の向上(10a当たり作業時間の低減)の影響の方が大きかったためと考えられた。18技術体系平均の10a当たり労働時間は、実績シナリオの13.1時間/10aから熟練者シナリオの10.5時間/10aに19.9%低減しており(表3-3)、最適作付面積の増加割合14.1%(図3-3)よりも影響が大きかったと考えられた。

以上より、稲作主要作業に関する技能水準が初心者から向上すると、作付面積拡大に伴い、1人当たり年間総労働時間も増加することが明らかになった。ただし、ある技能水準に達すると、そこからの技能向上は1人当たり年間総労働時間の低減に転じることが明らかになった。

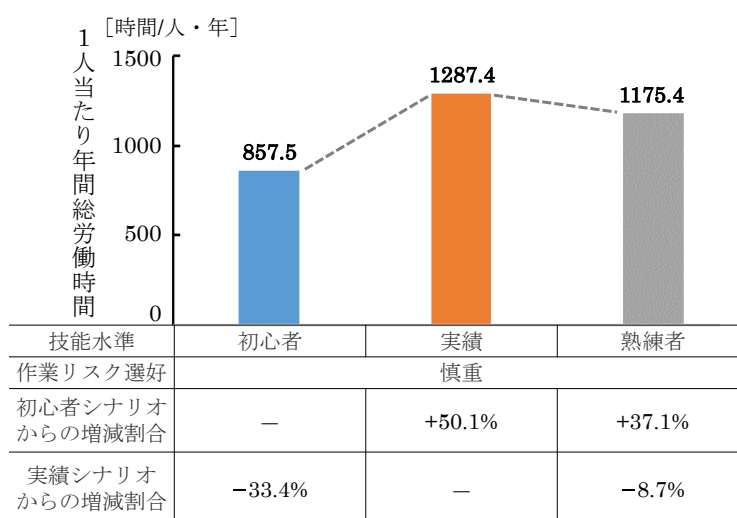


図 3-4 技能が1人当たり年間総労働時間に及ぼす影響

資料：FVS-FAPS を用いた分析結果より筆者作成。

4. 技能が玄米 1kg 当たり経営費に及ぼす影響

技能が玄米 1kg 当たり経営費に及ぼす影響を図 3-5 に示す。

玄米 1kg 当たり経営費は、実績シナリオで 162.8 円/kg であったが、初心者シナリオでは 231.1 円/kg に 41.9%増加し、熟練者シナリオでは 155.7 円/kg に 4.4%低減した。その内訳をみると、玄米 1kg 当たり固定費が、実績シナリオで 54.0 円/kg であったが、初心者シナリオでは 123.5 円/kg に 128.8%増加し、熟練者シナリオでは 46.9 円/kg に 13.0%低減した。玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃は、実績シナリオで 30.1 円/kg であったが、初心者シナリオでは 29.3 円/kg に 2.5%低減し、熟練者シナリオでは 30.3 円/kg に 0.6%増加した。また、初心者シナリオからの技能向上を想定すると、玄米 1kg 当たり経営費、玄米 1kg 当たり固定費、玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃は、実績シナリオではそれぞれ 29.5%低減、56.3%低減、2.5%増加となり、熟練者シナリオではそれぞれ 32.6%低減、62.0%低減、3.1%増加となった。なお、玄米 1kg 当たり変動費および玄米 1kg 当たり支払い地代は、作付面積にほぼ比例して変化するため、技能水準による変化はほとんど見られなかった。また、熟練者シナリオでは、保有乾燥施設の処理能力では賄えない収穫量となる作付計画であったため、乾燥施設の増設費用が発生した。

技能向上により玄米 1kg 当たり経営費が低減した結果は、技能向上による玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃の増加よりも、玄米 1kg 当たり固定費の低減の方が大きく影響したためと考えられた。具体的には、技能向上により作業能率が向上（10a 当たり作業時間が低減）し、最適作付面積が増加した結果、農業機械 1 台当たり作付面積増加（稼働率向上）や玄米収穫量増加に繋がり、結果として玄米 1kg 当たり固定費が低減したと考えられた。また、松倉ら（2015）においても、玄米 1kg 当たり固定費は、初心者シナリオに比較し、熟練者シナリオの方が小さくなっており、本章の結果と整合的であった。

他方で、技能水準に応じた雇用労賃（時給換算）を設定したが、技能向上によって作業能率が向上（10a 当たり作業時間が低減）した結果、玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃の増加が比較的抑えられたと考えられた。具体的には、技能向上によって雇用労賃（時給換算）が高くなることに加え、作付面積拡大に伴う年間総労働時間が増加した結果、総支払い雇用労賃が増加した。一方、作付面積拡大は玄米収穫量の増加にも繋がり、この増加割合が総支払い雇用労賃の増加割合と同等であったため、結果的に玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃の微増に留まったと考えられた。

以上より、稲作主要作業に関する技能向上は、玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃の増加に

繋がるが、それ以上に玄米 1kg 当たり固定費低減への影響が大きく、結果として玄米 1kg 当たり経営費の低減に繋がることが明らかになった。

ところで、初心者から熟練者に技能向上すると、技能を考慮した稲作主要作業の 10a 当たり作業時間は 61.5%低減し、18 技術体系平均の 10a 当たり労働時間や、年間総労働時間を最適作付面積から除した 10a 当たり労働時間は 47.6%低減した。これと玄米 1kg 当たり経営費を比較すると、10a 当たり作業・労働時間の低減（作業能率向上）の方が技能向上による影響が大きかった。この結果より、稲作主要作業の技能向上が、作業能率の向上に大きく影響し、それが派生し、結果として玄米 1kg 当たり経営費の低減に繋がることが示唆された。

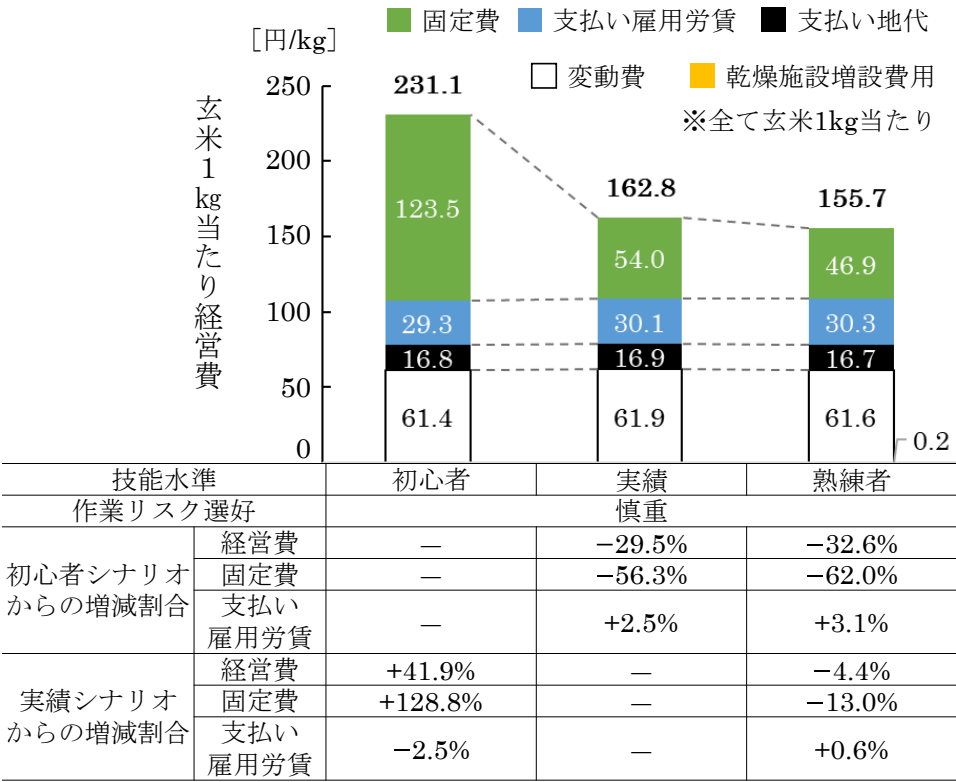


図 3-5 技能が玄米 1kg 当たり経営費に及ぼす影響

資料：：FVS-FAPS を用いた分析結果より筆者作成。

注 1：熟練者シナリオでは、保有乾燥施設の処理能力では賄えない収穫量となる作付計画となったため、乾燥機増設費用が 0.2 円/kg 発生している。

5. 技能向上によるコスト低減効果の手法間比較

最後に、技能向上によるコスト低減効果について、松倉ら（2015）の試算計画法の結果と比較した。図 3-6 に、技能向上によるコスト低減効果の各手法での分析結果を示す。なお、コストの指標として、本章は経営費、松倉ら（2015）は生産コストを用いており、コスト水準自体は直接比較できない点は留意されたい。以下では、基準となるシナリオからのコスト低減割合をポイントとして示す。

数理計画法による分析の結果、技能向上によるコスト低減効果は、初心者シナリオから実績シナリオでは 29.5 ポイント、実績シナリオから熟練者シナリオでは 4.4 ポイントとなった。また、試算計画法による分析の結果、技能向上によるコスト低減効果は、初心者シナリオから実績シナリオで 31.5 ポイント、実績シナリオから熟練者シナリオで 7.9 ポイントとなった（松倉ら 2015）。

両手法の分析結果の共通点として、技能向上によるコスト低減効果は、初心者シナリオから実績シナリオの方が、実績シナリオから熟練者シナリオよりも大きい点があげられた。これは A 法人実績と、初心者や熟練者の技能水準の差（作業能率の乖離）の程度が異なることが要因として考えられた。具体的には、技能水準別の作業能率（表 3-1）より、実績シナリオと熟練者シナリオの技能水準の差に比較し、初心者シナリオと実績シナリオの技能水準の差の方が相対的に大きいと考えられた。例えば、コンバイン作業をみると、熟練者と実績の作業能率の差に比較し、実績と初心者の差の方が大きい（表 3-1）。これらが技能向上によるコスト低減効果に影響し、初心者シナリオから実績シナリオでの効果と、実績シナリオから熟練者シナリオでの効果の間に大きな差異が現れたと考えられた。

一方、両研究の結果の相違点は、技能向上によるコスト低減効果の程度に差異が見られた点があげられた。松倉ら（2015）の試算計画法による分析結果と比較すると、本章のコスト低減効果は小さい傾向が見られた。この一因は、両研究の分析手法が異なる点が考えられた。具体的には、松倉ら（2015）は試算計画法を用いて、各技術体系の作付面積の構成比率を A 法人実績に基づいて一定に維持して試算している。一方、本章は数理計画法を用いて、各種制約条件下で平均収益（会社利益と役員報酬の合計）の最大化を優先する最適な作付計画となるように技術体系が選択されており、各技能水準シナリオで作付面積構成比率が異なっていた。ここで各技術体系について、利益係数と単収に負の相関関係が見られ、利益係数が高いと単収が低い傾向が見られた。本章の平均収益最大化を優先して実現する最適営農計画では、利益係数が相対的に高い技術体系が優先的に選択される傾向が

あり、その作付面積構成比率が松倉ら（2015）よりも大きくなっていった。換言すると、松倉ら（2015）に比較し、本章の作付計画は、高利益係数・低収量の技術体系の作付面積比率が相対的に大きいといえる。そのため、玄米 1kg 当たり経営費に着目した場合、技能向上による低減効果の程度は両研究間で差異が現れたと考えられた。以上より、平均収益最大化を優先経営目標とした本章の最適営農計画では、諸制約条件の下で収益向上最大化を実現する高利益係数・低収量の技術体系が優先的に選択されたため、結果的にコスト低減効果が相対的に小さくなったと考えられた。

以上より、稲作法人経営における稲作主要作業の技能向上はコスト低減に効果があることが、作業リスクや保有経営資源等を考慮した数理計画法による分析においても明らかに、稲作主要作業に関する技能向上はコスト低減に有効であるという結論がより一般化されたといえる。また、初心者技能向上はコスト低減に大きな効果を及ぼすことが明らかとなった。福原ら（2016）は、先進大規模稲作法人経営の経営者の実務経験に基づいて、大規模農業法人経営の経営課題としてコスト低減を目指す際、人材育成が必要不可欠であると述べており、本章の結果の現実妥当性を実務面からも裏付けている。

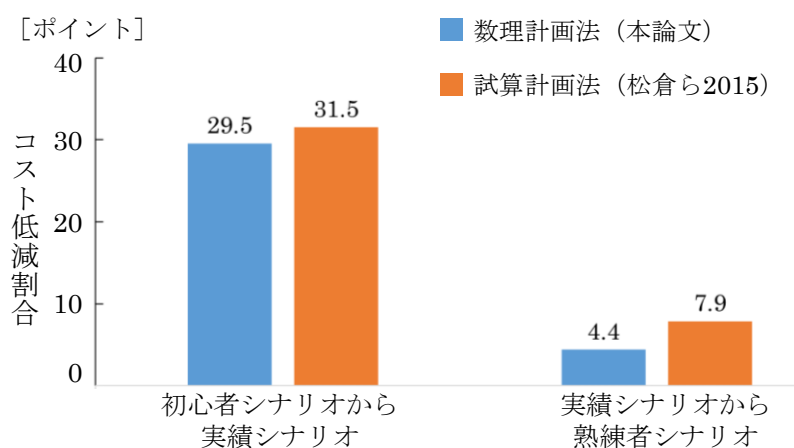


図 3-6 技能向上によるコスト低減効果の手法間比較

資料：FVS-FAPS を用いた分析結果および松倉ら（2015）より筆者作成。

注 1：基準となるシナリオからのコスト低減割合をポイントとして示す。なお、「コスト」の指標として本章は「経営費」、松倉ら（2015）は「生産コスト」を用いており、生産コストの費目内訳は両研究で一部異なる。

注 2：松倉ら（2015）の初心者シナリオは 50ha と 100ha の算術平均から 75 ha として算出した値、実績シナリオおよび熟練者シナリオは時給 1250 円/時で 150ha 作付した場合の値を用いている。

第4節 おわりに

本章では、図 1・3 の「技能」の軸に着目し、稲作主要作業の技能向上が稲作法人経営の作付面積、労働時間、生産コストに及ぼす影響について、松倉ら（2015）と同様のデータに、作業リスク等を考慮した数理計画法を適用し明らかにした。作業リスクに慎重な経営を想定した分析の結果、技能向上による作業能率向上によって、最適作付面積は増加し、それに伴い 1 人当たり年間総労働時間も増加することが明らかになった。また、玄米 1kg 当たり経営費は低減し、その内訳として玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃が増加するものの、それ以上に玄米 1kg 当たり固定費が低減することが明らかになった。したがって、稲作法人経営における初心者の技能向上は大幅な規模拡大やコスト低減に繋がることが示唆された。

また、技能向上のコスト低減効果については、作業リスクや保有経営資源を考慮した数理計画法を用いた分析においても、基本的には、試算計画法による松倉ら（2015）と同様の結果であることが明らかになった。このことから、稲作法人経営における技能向上はコスト低減に効果があるという結論がより一般化されたといえる。

以上より、稲作法人経営において人材育成等を通して初心者の稲作主要作業に関する技能を向上させることは、新規雇用が困難な労働力不足下でも規模拡大や生産コスト低減に有効な方策の一つであることが示唆された。

第4章 稲作法人経営におけるロボット技術の導入効果 —作業リスク選好を考慮した数理計画法による分析—

第1節 はじめに

第1章で見たように自動化・ロボット技術が稲作法人経営に及ぼす影響に関する研究蓄積は進みつつある。しかし、技術開発が日進月歩で進む中、将来的なロボット技術の事前評価が技術開発指針の検討において重要であるが、既存研究では十分に対応できていない。また、将来的な気候変動に伴う農業リスクの増大や労働力不足等についても考慮する必要があると考えられる。

そこで本章では、図 1-3 における「技術」の軸に着目し、稲作法人経営におけるロボット技術が作付面積や労働時間、生産コストに及ぼす影響を定量的に明らかにする。具体的には、将来実現が予想される、稲作主要作業の完全自動化できるロボット技術を取り上げる。そして、ロボット技術導入の有無、作業リスク選好、従事者数低減の有無による最適農計画の差異を分析する。数理計画モデルは、第3章とは異なり、茨城県所在の先進大規模稲作法人経営（以下、B 法人）の実績データ等を参考に、新たに収集・整理したデータに基づき、作業リスクも考慮して構築している。

なお、後述のように、本章では、多雨年の農作業データに基づく数理計画モデルを使用し、加えて、過去 20 年間のいずれの降雨条件でも作業遅延・不能とならない最適農計画も算出している。また、働き方改革を考慮した労働可能時間を設定している。このため、従来の平年や少雨年、繁忙期を想定した数理計画モデルに比較し、本章の数理計画モデルから算出される最適作付面積は小さい傾向が見られる。しかし、将来、地域温暖化が進めば多雨年の頻度が増加するとの指摘（IPCC 2017）や、農業における働き改革の社会的要請（農業の「働き方改革」検討会 2018）があることから、本章の結果はその先取りとの位置づけもできる。

以下では「ロボット技術」を「RT」と表記する。

第2節 データおよび方法

1. 分析視角

本章の研究課題に接近するために、分析視角として RT 導入の有無、作業リスク選好、従事者数低減の有無の 3 点を設定し、それらに関するシナリオ分析を行った。

RT 導入の有無は、現状の保有農機で作付けする場合を RT 未導入シナリオ、想定する RT を全て導入して作付けする場合を RT 導入後シナリオとした。なお、想定する RT を個別に導入する場合での分析も行ったが、RT を全て導入するシナリオの方が総体として稲作法人経営への顕著な影響が見られたため、本論文では RT を全て導入するシナリオに焦点を当てている。RT を個別に導入する場合での分析結果は付表 1～4 および馬場ら (2022) を参照していただきたい。

作業リスク選好は、慎重シナリオと強気シナリオを設定した。慎重シナリオは、過去 20 年間のどの年次の降雨パターンが生じても、作業遅延・不能とならずに機械作業が実施できる慎重な最適営農計画を算出する。一方、強気シナリオは、過去 20 年間の平均年次の降雨パターンにおいて機械作業可能となる強気な最適営農計画を算出する。なお、強気シナリオは、慎重シナリオに比較し、より大きい作付面積となる最適営農計画が得られるが、過去 20 年間のうち多雨年の降雨条件となった場合、作業遅延・不能となるリスクがある点は留意が必要である。

従事者数低減の有無は、RT の労働代替可能性を検討するために設定した。現状の従事者数を維持する場合を従事者数維持シナリオ、従事者 1 人を低減する場合を従事者数低減シナリオとした。従事者数維持シナリオでは、農業用ロボットに代替された従事者は別の農作業に従事することができる。

2. 想定するロボット技術の前提条件

本章では、第 2 章で述べたように、将来実現が予想される、稲作主要作業に従事者と同等の水準で完全無人で実施できる RT を仮想的に想定し、分析対象とした。RT の導入を想定する稲作主要作業は、田植機による移植と湛水直播、コンバインによる収穫、トラクタによる耕起耕耘など 4 種類の作業、そして水管理とした。本章における RT の仮定は以下の通りである。

第一に、RT の導入方法として、ロボット農機は現状の保有農機（田植機やコンバイン、トラクタ）にロボット機能を付加する場合を想定した。また、水管理用ロボットについては、ロボット農機のようにロボット機能を付加する既存農機がないことから、全圃場到新規導入する場合を想定した。なお、ロボット農機の導入方法は、保有農機にロボット機能を付加する場合とロボット農機を新規導入する場合が考えられた。本章では前者を想定したが、RT 導入に係る費用が結果に影響しない作付面積や労働時間に係る本章の結果は、

保有農機と同等の作業能率が実現できるロボット農機に買い替えた場合においても適用できる。

第二に、RT の実施作業について、RT は予め設定されたプログラムに基づき、無人状態で、システムによって常時すべての操作・作業を行うことを想定した。例えば、ロボット農機は圃場内作業から公道走行を含む圃場外作業の一連の機械作業を、水管理用ロボットは全圃場の給排水作業を、自律的に実施する。なお、データの制約上、組作業を伴うロボット田植機およびロボットコンバインについては、圃場内作業と圃場間移動をロボット農機が自律的に行い、圃場間移動以外の圃場外作業は補助者が行う想定とした。

また、基本的に RT がシステムによって周囲を監視し、非常時の停止操作等を行うことを想定した。そのため、農業者は、RT 稼働中に、必要に応じてモニター等により RT の遠隔監視を行いながら、他作業に従事できる。なお、安全確保の観点から RT の監視体制が求められる場面もある。しかし、本章では開発前技術の事前評価や技術開発の方向性提示の重要性の観点から、RT による農作業の完全労働代替の可能性（閾値）を探るため、監視労働力が不要な水準の安全対策技術を施し、人の常時監視が必要ない完全自動の RT を想定している。

第三に、作業能率（10a 当たり作業時間）と機械作業可能時間について、現状保有農機作業と同様の設定とした。具体的には、RT は B 法人従事者と同等の作業能率で作業を実施する想定とした。そのため、RT の作業能率は B 法人 2019 年実績データ（作業記録）から算出した作業能率の実績値を設定した（表 4-1）。ただし、トラクタ・代かきはデータ制約のため B 法人 2018 年度の作業記録に基づいて設定した。また、コンバイン・収穫等の一部作業では、降雨条件等の影響で平年に比較し作業能率が低下している。ところで、実証段階の自動運転農機は操作不慣れや誤動作等で 10a 当たり作業時間が増加（作業能率が低下）するという現場の声があるが、本章は RT が誤動作等を起こさない完成機で、RT の操作・設定に熟練した場合を想定する。

また、ロボット農機の作業は慣行農機と同様に降雨の影響を受けると仮定した。具体的には、各農機作業が可能な降水量の上限値である作業限界降水量（表 4-1）等から推計した機械作業可能時間を、現状保有農機作業と同様に適用した。また、ロボット農機の機械作業可能時間は、現状保有農機と同様に、農業者（農業経営）の作業リスク選好に規定されると仮定した。水管理用ロボットは降雨の影響を受けず、無人状態で 24 時間稼働することを想定した。ところで、RT は夜間に稼働させることも可能であり、RT 導入が労働

可能時間や機械作業可能時間の増加に繋がることも考えられる。しかし、本章では働き方改革等の観点からこの点を想定していない。具体的には、RT が田植えや収穫の夜間作業を行うことで、それに付随する組作業（苗補給や粃運搬）や収穫粃の乾燥・調製を夜間に行う必要がある点、また RT が夜間作業中に事故等が万が一発生した場合、その対応を緊急に行う必要があり、それが農業者の夜間労働（残業）に繋がる点から想定していない。

表 4-1 ロボット技術導入を想定する稲作主要作業の概要

主要 使用機械	作業項目	作業能率： 10a当たり 作業時間 ^(注1)	作業限界降水量				対応 ロボット 技術
		時間/10a	作業中 mm/5時間	当日 mm/午前0 時～8時	前日 mm/1日	前々日 mm/1日	
多目的 田植機	移植	0.32	10	30	50	80	ロボット 田植機 ^(注2)
	湛水直播	0.26					
紙マルチ 田植機	移植	0.44	10	30	50	80	
コンバイン	収穫	0.32	1	8	80	100	ロボット コンバイン
トラクタ ^(注3)	耕起耕耘	1.03	1	8	107	120	ロボット トラクタ
	土壌改良 (整地)	0.47					
	代かき	0.34 ^(注4)	15	50	50	80	
	乾田直播	0.18	1	3	10	15	
—	水管理 ^(注5)	0.48	—	—	—	—	水管理用 ロボット

資料：作業能率および保有台数は B 法人 2019 年実績データ（作業記録等）を、作業限界降水量は南石（1998a）等を参考に筆者作成。

注 1：平年の作業能率に比較し、一部作業で作業能率が低下している。その理由として、B 法人の経営者に対するヒアリングの結果、降雨条件等による影響が考えられた（例えば、降雨による倒伏でコンバイン作業が遅れた）。

注 2：分析では多目的田植機と紙マルチ田植機を明確に区別しているが、本論文ではこれらを総称して田植機とし、対応するロボット技術をロボット田植機とする。

注 3：トラクタの一部では、作業競合が発生する設定にした。具体的には、耕起耕耘および土壌改良（整地）に使用するトラクタ 1 台と、耕起耕耘および代かき、乾田直播に使用するトラクタ 1 台である。

注 4：トラクタによる代かきの作業能率は、データ制約のため、B 法人 2018 年実績データから算出した値を用いた。

注 5：水管理は農機作業ではないが、RT 導入を想定するため、参考として示している。当該作業は作業リスクを考慮しないため、作業限界降水量を設定していない。なお、水管理の作業能率が高い要因として、B 法人は圃場集積・団地化や、圃場連坦による大区画化が進んでいる点が理由の一つとして考えられる（B 法人の圃場面積は最小 3.6a、平均 40a、最大 250a）。

3. 数理計画モデルの概要

本章の数理計画モデルで仮定した農業経営像は、関東平野の水稻単作の先進大規模稲作法人経営である。具体的には、B 法人を参考に、従事者数 9 人、田地が全て借地（地代約 1.6 万円/10a）で作付面積規模 150ha、平均圃場面積 40a/圃場の稲作法人経営を仮定した。ただし、後述の機械作業時間や労働可能時間については、将来的な気候変動リスクや働き方改革の社会的要請を踏まえた数理計画モデルを構築している。

数理計画モデルの構築には FVS-FAPS を用いた。本モデルの最優先経営目標は平均収益最大化（収益は、会社利益と役員報酬の合計）を設定した。また、制約条件として労働力制約、機械作業可能時間制約（作業リスク制約）、土地制約、施設制約を設定した。

表 4-2 に本モデルの構築データの概要を示す。品種・栽培様式・作期別の技術体系データ（10a 当たりの販売価格、費目別変動費、作業項目別労働時間、機械作業時間等）は、B 法人の 2019 年実績データや栽培マニュアル（茨城県 2012、滋賀県農政水産部 2012、クボタ 2020）、資材等市販価格（Farmers Network2020、日本農業システム 2020 等）を参考に設定した。

具体的な品種・栽培様式・作期別の技術体系データは表 4-3 に示す。例えば、「一番星・特別栽培・4 月中旬」では、主な作業として移植を 4 月中旬に、収穫を 8 月中旬に行う設定である。また、10a 当たり利益係数（＝売上高－変動費）は 10.8 万円/10a、単収は 542.1kg/10a、10a 当たり労働時間は RT 未導入（慣行）で 11.2 時間/10a、RT 導入後で 8.1 時間/10a を設定している。なお、技術体系によって設定値が異なる点は、品種や栽培様式によって単収や販売価格、使用資材量・種類、作業内容等が異なることに起因する。

技術体系データのうち単収データは、B 法人 2019 年実績データが気象の影響で低収量年のデータであったため、過去 10 年間（2010～2019 年）の B 法人収量データから各技術体系の年次別単収を推計し、過去 10 年間の推計単収の算術平均値を用いた。その際に、過去 10 年間で作付実績がない品種については、作付実績のある年次の作付面積と収量から単収を算出し、これとデータ欠損年次の経営全体単収から年次別単収推計値を算出・補完した。

表 4-2 数理計画モデルの構築データ概要

項目			内容
品種・栽培様式・作期別の 技術体系データ			10a当たり販売価格 10a当たり費目別変動費 10a当たり作業項目別労働時間 10a当たり機械作業時間 等
	品種		11品種
	技術体系		22技術体系
	単収		過去10年間（2010～2019年）における B法人実績データから推計した平均値
制約条件： 保有経営資源等	労働力制約		- 従事者数：9人 - 労働可能時間：8.0時間/日・人
	機械作業 可能時間 制約 ・ 作業リスク 制約	保有 農機 (注1)	- 多目的田植機（8条）1台 - 紙マルチ田植機（6条）1台 - 自脱型コンバイン（6条）1台 - トラクタ（60～95ps）4台 ※機械作業項目ごとに作業限界降水量を設定
		降水量	茨城県龍ヶ崎市付近の 過去20年間（2000年～2019年）における 1時間毎の降水量データ
	土地制約		- 作付面積の規模拡大上限450ha （B法人の規模拡大目標より設定） - 田地は全て借地（地代約1.6万円/10a） - 平均圃場面積40a/枚
	施設制約		- 育苗ハウス：ハウス面積12a、育苗能力555箱/a - 乾燥施設：処理能力600t/旬
	本章における経営費		経営費＝変動費（種苗費や農薬費など） ＋支払い雇用労賃（時給換算） ＋支払い地代＋固定費

資料：B 法人 2019 年実績データ等を参考に筆者作成。

注 1：B 法人は有機栽培以外の移植・湛水直播に用いる多目的田植機を 2 台保有しているが、実質稼働台数が 1 台であったため、保有農機として多目的田植機は 1 台を設定した。なお、紙マルチ田植機 1 台は有機栽培でのみ使用している。

表 4-3 技術体系データの概要

技術体系名 (注1)			3月		4月			5月			6月			8月			9月			10月			11月			利益 係数 (万円 /10a)	平均 単収 (注2 (kg/ 10a)	10a当たり 労働時間 (時間/10a)	
品種	栽培様式	作期	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬		RT 未導入	RT 導入後
一番星	特別栽培	4月 中旬	SI			Pu Tr								Ha									SI			10.8	542.1	11.2	8.1
		4月 下旬	SI			PT								WM									PT			10.8	542.1	11.2	8.1
あきた こまち	特別栽培	4月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			11.6	524.5	11.2	8.1
		4月 下旬	SI			PT								WM									PT			11.6	524.5	11.2	8.1
コシ ヒカリ	特別栽培	5月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			10.8	463.7	11.2	8.1
		5月 下旬	SI			PT								WM									PT			10.8	463.7	11.2	8.1
		5月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			10.8	463.7	11.2	8.1
		5月 下旬	SI			PT								WM									PT			10.8	463.7	11.2	8.1
	有機栽培	5月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			18.0	428.5	13.7	10.4
		5月 下旬	SI			PT								WM									PT			18.0	428.5	13.7	10.4
あき だわら	慣行栽培	5月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			8.1	477.6	11.2	8.1
ミルキー クイーン	特別栽培	5月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			11.6	420.6	11.2	8.1
あさひ の夢	特別栽培	6月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			6.3	478.2	11.2	8.1
ゆめ ひたち	特別栽培	6月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			9.7	431.4	11.2	8.1
		6月 下旬	SI			PT								WM									PT			9.7	431.4	11.2	8.1
にじの きらめき	特別栽培	6月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			4.6	376.1	11.2	8.1
ふわり もち	特別栽培	6月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			4.0	303.7	11.2	8.1
マンガツ モチ	特別栽培	6月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			6.4	343.0	11.2	8.1
		6月 下旬	SI			PT								WM									PT			6.4	343.0	11.2	8.1
あき だわら	乾田直播	4月 中旬	SI			DS																	SI			8.3	549.1	9.8	7.1
にこまる	乾田直播	4月 中旬	SI			DS																	SI			4.0	141.1	9.8	7.1
あき だわら	湛水直播	5月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			8.3	482.8	10.5	7.4
		5月 下旬	SI			PT								WM									PT			8.3	482.8	10.5	7.4
にこまる	湛水直播 (手撒き)	5月 中旬	SI			Pu Tr																	SI			5.1	141.1	12.3	9.5

資料：B 法人 2019 年実績データ等を参考に筆者作成。

注 1：作業時期は RT を導入する作業のみを示し、各記号は SI：土壤改良、PT：耕起耕転、Pu：代かき、Tr：移植、DS：直播、WM：水管理、Ha：収穫を示す。なお、RT 導入を想定しない（農業者が行う）主な作業は、移植や収穫時の補助作業に加えて、用排水整備や暗渠・明渠施行、育苗・播種準備、畦畔管理、病害虫防除、湛水直播（手撒き）、肥料散布、除草、乾燥・調製・出荷等がある。

注 2：平均単収は、過去 10 年間（2010～2019 年）の B 法人収量データから推計した単収の平均値である。

数理計画モデルの制約条件に使用する保有経営資源は B 法人を参考に設定した。

労働力制約は、1 日・1 人当たり労働可能時間および従事者数、旬労働日数から算出した旬別労働可能時間を設定した。従事者数は 9 人、1 日・1 人当たり労働可能時間は 8.0 時間/日・人とした。これは農業における働き方改革の社会的要請（農業の「働き方改革」検討会 2018）を考慮し、残業を想定しない 1 日労働可能時間としている。旬労働日数は、旬日数 10 日もしくは 11 日（2 月下旬のみ 8 日）から旬別休暇日数 1.43 日を差し引いた日数とした。なお、年末年始やお盆の休暇を考慮したため、その時期は旬労働日数が短い。

機械作業可能時間制約（作業リスク制約）は、RT を導入する農機作業（水管理を除く）について設定した。機械作業可能時間は、労働可能時間や作業別作業限界降水量、時間降水量等から推計した。作業限界降水量は南石（1998a）等を参考に作業中、当日、前日、前々日で設定した（表 4-1）。また、時間降水量はアメダスによる観測値（気象庁 2020）より、茨城県龍ヶ崎市付近の過去 20 年間（2000 年～2019 年）における 1 時間毎の降水量データを用いた。作業リスクを考慮する保有農機は、B 法人 2019 年実績データを参考に、多目的田植機（8 条）1 台、紙マルチ田植機（6 条）1 台、自脱型コンバイン（6 条）1 台、トラクタ（60～95ps）4 台を設定した。

これらで推計する機械作業可能時間を用いて、作業リスク選好別に作業リスク制約を設定した。具体的には、過去 20 年間（2000 年～2019 年）の年次別旬別機械作業可能時間から、慎重シナリオでは「最小値」、強気シナリオでは「平均値」を、作業リスク制約として適用した。

土地制約は、B 法人の経営者が将来的に従事者 1 人当たり作付面積 50ha を目指していることから、作付面積規模拡大の上限を 450ha とした。一般的には規模拡大（借地）可能な面積を制約条件として設定するが、本章では将来実用化が期待される RT の導入による規模拡大の可能性を分析するため、将来的な作付面積目標を便宜的に制約条件として設定した。

施設制約は、育苗ハウスと乾燥施設について、B 法人 2019 年実績データを参考に設定した。具体的には、育苗ハウスは現有ハウス面積 12a、ハウス育苗能力 555 箱/a、本圃移植必要育苗箱数（平均）14.8 箱/10a を設定した。また、乾燥施設は乾燥処理能力 600t/旬を設定した。

最後に、本章では生産コストの指標として「経営費」を用いた。経営費の内訳は変動費、支払い雇用労賃、支払い地代、固定費である。変動費は種苗費や農薬費など全 9 種からな

る。雇用労賃は稲作生産部門のみを考慮するため、労働可能時間を全部門の労働時間と仮定し、それで年収を除して時給換算にした。これに数理計画法で算出された最適営農計画の年間総労働時間を乗じたものを稲作生産部門の支払い雇用労賃とした。また年収は約 440 万円/年・人とした。なお、年収の時給換算は既存研究（松本 2020）と可能な限り条件を揃えて生産コストの比較を行うための処置でもある。

固定費は機械固定費と施設固定費からなる。なお、以下の分析では減価償却が終了した農機の減価償却費は計上していない。また、本章では導入費用や運用費用等が明らかではない市販化前の農業用ロボットを想定するため、最適営農計画算出時の固定費および経営費には農業用ロボット導入に際して発生する年間費用（農業用ロボット本体の導入費用や、点検・修理費、システム・サービス利用料、保険・税金等の運用・維持費）を計上していない。

なお、気象庁の公開しているアメダスデータ（<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrm/>）を参照すると、B 法人 2019 年実績データの収集年（2019 年）は多雨年（年降水量は平年比 11%増、月降水量は 10 月で平年比 111%増）であった。その影響もあり、1 日当たり労働時間が最大 12 時間になる日が見られ、平年に比較し一部作業で作業能率が低いデータとなっている。しかし、本章では気候変動に伴う気象変動リスク対応や働き方改革の観点から、1 日労働可能時間を 8 時間/日・人（残業は想定しない）に設定し、多雨年の作業能率データを用いて最適営農計画モデルを構築した。

以上に基づいて構築した数理計画モデルの単体表（一部抜粋）を表 4-4 に示す。

表 4-4 数理計画モデルの単体表（一部抜粋）

制約 番号		プロセス番号	基底					1		...	22		23		...	44		45	46	47
			優先 順位 P_i	重み w_i	目標値・ 条件値 (制約量) ^(注3)	関係	単位	技術体系プロセス (農業用ロボット未導入時)		技術体系プロセス (農業用ロボット体系導入)		総 労働 時間	水田 借地 面積	水稲 作付 面積						
								一番星・ 特別栽培・ 4月中旬	...	にこまる・ 湛水直播・ 5月上旬	...				一番星・ 特別栽培・ 4月中旬	...	にこまる・ 湛水直播・ 5月上旬	...		
1	目 録 標 営	平均収益目標	4	1	1000000	≡	万円	10.8	...	5.1	...	10.8	...	5.1		-1.6				
2		平均粗収益目標	6	1	1000000	≡	"	13.0	...	7.9	...	13.0	...	7.9						
3		水稲作付面積目標	7	1	1000000	≡	10a	...	...	...	...	...	...	...			1			
4		年間総労働時間目標	5	1	0	≡	時間	...	...	...	...	...	...	...						
5	労働 力 (注1)	旬別労働時間 1月上旬	2	1	432.0 (384.0)	≡	時間	0.24	...	0.15	...	0.14	...	0.06						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...							
40		旬別労働時間 12月下旬	2	1	689.0 (612.5)	≡	"	0.24	...	0.16	...	0.15	...	0.07						
41		総労働時間	1	1	0	≡	時間	11.25	...	12.33	...	8.12	...	9.52	-1					
42	機械 作業 可能 時間 制約 (作 業 リ ス ク 制約) (注2)	田植機：移植：4月中旬	2	1	54.8 (67.0)	≡	時間	0.32	...	0.00	...	0.32	...	0.00						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...							
49		田植機：移植：6月下旬	2	1	51.4 (65.5)	≡	"	0.00	...	0.00	...	0.00	...	0.00						
50		田植機：湛水直播：4月中旬	2	1	54.8 (67.0)	≡	"	0.32	...	0.00	...	0.32	...	0.00						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...							
57		田植機：湛水直播：6月下旬	2	1	51.4 (65.5)	≡	"	0.00	...	0.00	...	0.00	...	0.00						
58		紙マルチ田植機：移植：5月上旬	2	1	61.7 (67.5)	≡	"	0.00	...	0.00	...	0.00	...	0.00						
59		コンバイン：収穫：8月中旬	2	1	33.6 (50.7)	≡	"	0.32	...	0.00	...	0.32	...	0.00						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...							
67		コンバイン：収穫：10月下旬	2	1	27.8 (60.2)	≡	"	0.00	...	0.00	...	0.00	...	0.00						
68		トラクタA：土壌改良（整地）：1月上旬	2	1	38.4 (46.3)	≡	"	0.04	...	0.03	...	0.04	...	0.03						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...							
86		トラクタA：土壌改良（整地）：12月下旬	2	1	55.7 (71.7)	≡	"	0.04	...	0.04	...	0.04	...	0.04						
87		トラクタA：耕起耕転（ブラウ耕）：1月上旬	2	1	38.4 (46.3)	≡	"	0.04	...	0.03	...	0.04	...	0.03						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...							
105		トラクタA：耕起耕転（ブラウ耕）：12月下旬	2	1	55.7 (71.7)	≡	"	0.04	...	0.04	...	0.04	...	0.04						
106		トラクタB：耕起耕転（スタプル耕）：1月上旬	2	1	38.4 (46.3)	≡	"	0.01	...	0.01	...	0.01	...	0.01						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...							
110		トラクタB：耕起耕転（スタプル耕）：4月上旬	2	1	51.4 (60.3)	≡	"	0.00	...	0.00	...	0.00	...	0.00						
111		トラクタB：代かき：1月上旬	2	1	45.6 (47.9)	≡	"	0.01	...	0.01	...	0.01	...	0.01						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...							
123		トラクタB：代かき：6月下旬	2	1	58.3 (67.0)	≡	"	0.00	...	0.00	...	0.00	...	0.00						
124		トラクタB：乾田直播：4月上旬	2	1	13.7 (46.6)	≡	"	0.00	...	0.00	...	0.00	...	0.00						
125		トラクタC：耕起耕転（1番～4番耕起）：1月上旬	2	1	76.8 (92.6)	≡	"	0.05	...	0.05	...	0.05	...	0.05						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...							
150		トラクタC：耕起耕転（1番～4番耕起）：12月下旬	2	1	111.4 (143.4)	≡	"	0.05	...	0.05	...	0.05	...	0.05						
151		水管理用ロボット：水管理：4月中旬	2	1	240.0 (240.0)	≡	"	...	...	...	...	0.04	...	0.00						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...							
169		水管理用ロボット：水管理：10月中旬	2	1	240.0 (240.0)	≡	"	...	...	...	...	0.00	...	0.03						
170	土地 制約	水田制約 1月上旬	2	1	0	≡	10a	1	...	1	...	1	...	1		-1				
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		...					
205		水田制約 12月下旬	2	1	0	≡	"	1	...	1	...	1	...	1		-1				
206		水田借地面積上限	3	1	4500	≡	"	...	...	...	...	...	...	...		1				
207	施設 制約	水稲作付面積	1	1	0	≡	"	1	...	1	...	1	...	1			-1			
208		育苗ハウス制約 4月上旬	2	1	1.2	≡	10a	0.003	...	0	...	0.003	...	0						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		...					
216		育苗ハウス制約 6月下旬	2	1	1.2	≡	"	0	...	0	...	0	...	0						
217		乾燥施設制約 8月中旬	2	1	600	≡	t	0.77	...	0	...	0	...	0						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		...					
224	乾燥施設制約	乾燥施設制約 11月上旬	2	1	600	≡	"	0	...	0	...	0	...	0						
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		...					

資料：FVS-FAPS 出力画面より抜粋し、筆者作成。

注 1：労働力制約における目標値・条件値（制約量）の括弧内は従事者数低減シナリオの値である。

注 2：機械作業可能時間制約における条件値の括弧内は作業リスク選好強気の値である。なお、機械作業の競合を設定したため、代かき作業などにおいて、実際は作業しない旬にも機械作業（稼働）係数が設定されている。

注 3：「最大化目標」は「平均収益（収益は、会社利益と役員報酬の合計）目標」、「平均粗収益目標」、「水稲作付面積目標」とし、最大化のため、南石（1998a）に準拠して達成不可能な十分大きな値を目標値・条件値（制約量）として便宜的に設定した。「最小化目標」は「年間総労働時間目標」とし、最小化のため、南石（1998a）に準拠して 0（ゼロ）を目標値・条件値（制約量）として便宜的に設定した。他方で、水管理用ロボットの水管理（給排水）可能時間は前提条件から実質的な制約にならないものの、明示的にモデルに組込むため、「実質的に制約を課さないもの」として「機械作業可能時間制約の水管理用ロボット：水管理」において、十分大きな値を目標値・条件値（制約量）に便宜的に設定した。

表 4：表が長大となるため、「…」の部分と差異変数の表示を省略した。

注 5：表中の表記（一部除く）は、南石（2003）や FVS-FAPS のシステム上の表記等を参考に記載した。

4. 数理計画モデルの現実妥当性の検証

本章では南石（2011）に準拠して、数理計画モデルの係数および構造（設定されている数式群）に着目し、構築した数理計画モデルの現実妥当性を検証した。ここでは経営シミュレーション分析（例えば、労働可能時間 8 時間/日・人や過去 20 年間の降雨条件から推定する作業リスク制約等を設定した分析等）の前提となる、B 法人の 2019 年の実態を再現した数理計画モデルで検証した。

その結果、モデルの係数については経営全体（年間）でみると実績試算値と実績値との乖離は小さく、実績試算値が概ね制約量以下に収まっていたことから B 法人実績の慣行的な係数として現実妥当性があると判断した（表 4-5）。また、モデルの構造についてはモデル係数の設定を鑑みて検証した結果も含め、B 法人実績水準に近い最適解が得られたことから、欠落している制約式はないと考え、現実妥当性があると判断した。以上から、本章で用いる数理計画モデルは現実妥当性があると判断した。なお、後述するが、本モデルのシミュレーション部分については、試算結果を B 法人代表取締役役に示したところ、モデルの設定等を鑑みても現場感覚として妥当性がある旨のコメントをもらったことから、モデル構造として妥当性があることを確認している。

表 4-5 数理計画モデルの検証結果

検証単位		検証項目	単位	実績面積 による 試算値	A法人 2019年 実績値	実績値に対する 乖離割合絶対値	実績試算値が 実績値を 10%以上 上回った句数 /係数設定句数 (割合)	乖離割合 絶対値が 10%超の 乖離句数 /係数設定句数 (割合)
モデルの係数	経営全体 (年間)	粗収益 (売上高と交付金の合計)	万円	15740.2	16369.2 ^(注1)	3.8%	-	-
		変動費 (雇用労賃および地代含まない)	#	3636.7	3636.7	0.0%	-	-
		経営費 ^(注2)	#	11323.4	11403.4	0.7%	-	-
		収益 (役員報酬含む) ^(注2)	#	4416.8	4965.8 ^(注1)	11.1%	-	-
		玄米収穫量	t	573.1	573.0	0.0%	-	-
		総労働時間	時間	16768.9	16848.4	0.5%	-	-
		乾田直播 (作業項目別乖離最小)	#	28.0	28.0	0.0%	-	-
		肥料散布 (作業項目別乖離最大)	#	683.0	701.9	2.7%	-	-
		田植機・移植	#	424.3	421.4	0.7%	-	-
		田植機・湛水直播	#	6.9	6.9	0.0%	-	-
		紙マルチ田植機・移植	#	14.4	14.4	0.0%	-	-
		コンバイン・収穫	#	487.3	488.9	0.3%	-	-
		トラクタ・乾田直播	#	24.2	24.2	0.0%	-	-
		総施設利用量 乾燥施設利用量 (乾燥前乾重量)	t	818.7	823.7	0.6%	-	-
		旬別労働時間	時間	233.6~832.3	171.0~799.3	0.1~131.2%	12/36 (33.3%)	28/36 (77.8%)
	旬別	田植機・移植	#	11.0~75.9	11.5~76.2	2.4~24.1%	1/8 (12.5%)	3/8 (37.5%)
		田植機・湛水直播	#	2.8~4.1	3.5	18.5%	1/2 (50.0%)	2/2 (100.0%)
		紙マルチ田植機・移植	#	14.4	14.4	0.0%	0/1 (0.0%)	0/1 (0.0%)
		コンバイン・収穫	#	10.9~87.9	21.4~96.2	1.2~68.7%	3/8 (37.5%)	5/8 (62.5%)
		トラクタ・乾田直播	#	24.2	24.2	0.0%	0/1 (0.0%)	0/1 (0.0%)
		旬別施設利用量 乾燥施設利用量 (乾燥前乾重量)	t	25.2~166.9	35.1~183.6	0.2~47.0%	3/8 (37.5%)	5/8 (62.5%)
モデルの係数と構造	検証項目		単位	実績面積 による 試算値	制約量	制約量に対する 実績試算値の 超過割合最大値	実績試算値が 制約量を超過 した句数 /係数設定句数	係数設定句数 に対する 超過句数の 割合
	旬別	労働力制約: 12時間/日・人の場合	時間	233.6~832.3	648.0~1033.6	-	0/36	0.0%
	労働時間	労働力制約: 10時間/日・人の場合	#	233.6~832.3	540.0~861.3	7.9%	1/36	2.8%
	作業リスク	田植機・移植	#	11.0~75.9	92.6~102.8	-	0/8	0.0%
		田植機・湛水直播	#	2.8~4.1	102.8	-	0/2	0.0%
		田植機・合計 ^(注3)	#	10.8~76.8	92.6~102.8	-	0/8	0.0%
		紙マルチ田植機・移植	#	14.4	102.8	-	0/1	0.0%
		コンバイン・収穫	#	10.9~87.9	51.4~102.8	-	0/8	0.0%
		トラクタA・耕起耕転 (ブラウ耕)	#	16.3~20.5	72.0~102.8	-	0/5	0.0%
		トラクタA・土壌改良 (整地)	#	36.6~48.4	69.0~114.8	-	0/15	0.0%
		トラクタA・合計 ^(注3)	#	17.3~68.8	69.0~114.8	-	0/19	0.0%
		トラクタB・耕起耕転 (スタブル耕)	#	10.3~11.7	72.0~109.6	-	0/4	0.0%
		トラクタB・代かき	#	11.4~91.5	99.2~102.8	-	0/8	0.0%
	旬別機械 作業時間	トラクタB・乾田直播	#	24.2	72.0	-	0/1	0.0%
		トラクタB・合計 ^(注3)	#	10.3~91.5	72.0~114.8	-	0/13	0.0%
		トラクタC・耕起耕転 (1番~4番耕転)	#	1.7~75.7	123.4~229.7	-	0/26	0.0%
		田植機・移植	#	11.0~75.9	78.3~85.7	-	0/8	0.0%
		田植機・湛水直播	#	2.8~4.1	85.7	-	0/2	0.0%
		田植機・合計 ^(注3)	#	10.8~76.8	77.1~85.7	-	0/8	0.0%
		紙マルチ田植機・移植	#	14.4	85.7	-	0/1	0.0%
		コンバイン・収穫	#	10.9~87.9	42.9~81.4	17.4%	4/8	50.0%
		トラクタA・耕起耕転 (ブラウ耕)	#	16.3~20.5	60.0~85.7	-	0/5	0.0%
		トラクタA・土壌改良 (整地)	#	36.6~48.4	57.5~95.7	-	0/15	0.0%
	作業リスク 制約: 10時間 /日・人 の場合	トラクタA・合計 ^(注3)	#	17.3~68.8	57.5~95.7	14.7%	1/19	5.3%
		トラクタB・耕起耕転 (スタブル耕)	#	10.3~11.7	60.0~91.4	-	0/4	0.0%
		トラクタB・代かき	#	11.4~91.5	82.7~85.7	6.8%	1/8	12.5%
		トラクタB・乾田直播	#	24.2	60.0	-	0/1	0.0%
		トラクタB・合計 ^(注3)	#	10.3~91.5	60.0~95.7	6.8%	1/13	7.7%
		トラクタC・耕起耕転 (1番~4番耕転)	#	1.7~75.7	102.8~191.4	-	0/26	0.0%
	旬別施設 利用量	施設制約: 育苗ハウス (現有面積)	a	0.9~12.0	12.0	0.1%	1/9	11.1%
		施設制約: 乾燥施設 (処理能力)	t	25.2~166.9	600.0	-	0/8	0.0%
モデルの構造	労働可能 時間設定	最優先経営 目標設定	検証項目	単位	最適面積 による 試算値	A法人 2019年 実績値	実績値に対する 最適解試算値の 乖離割合	
	A法人 2019年 労働時間 実績値	平均収益 最大化	作付面積	ha	99.3	150.3	-33.9%	
			総労働時間	時間	11465.9	16848.4	-31.9%	
		作付面積 最大化	収益 (役員報酬含む) ^(注2)	万円	5170.8	4965.8 ^(注1)	4.1%	
			作付面積	ha	104.3	150.3	-30.6%	
			総労働時間	時間	12081.9	16848.4	-28.3%	
			収益 (役員報酬含む) ^(注2)	万円	3939.8	4965.8 ^(注1)	-20.7%	
	12時間 /日・人 の場合	平均収益 最大化	作付面積	ha	156.7	150.3	4.3%	
			総労働時間	時間	18243.8	16848.4	8.3%	
		作付面積 最大化	収益 (役員報酬含む) ^(注2)	万円	8093.3	4965.8 ^(注1)	63.0%	
			作付面積	ha	164.2	150.3	9.3%	
			総労働時間	時間	19053.5	16848.4	13.1%	
			収益 (役員報酬含む) ^(注2)	万円	6137.1	4965.8 ^(注1)	23.6%	
	10時間 /日・人 の場合	平均収益 最大化	作付面積	ha	130.9	150.3	-12.9%	
			総労働時間	時間	15184.9	16848.4	-9.9%	
		作付面積 最大化	収益 (役員報酬含む) ^(注2)	万円	6951.7	4965.8 ^(注1)	40.0%	
			作付面積	ha	136.8	150.3	-8.9%	
			総労働時間	時間	15903.5	16848.4	-5.6%	
			収益 (役員報酬含む) ^(注2)	万円	5627.1	4965.8 ^(注1)	13.3%	

資料: FVS-FAPS による計算結果および B 法人実績データをもとに筆者作成。

注 1: B 法人実績値は 2019 年 1 月 1 日から 2019 年 12 月 31 日の 1 年間の取引の値であり、粗収益および収益には 2019 年に販売された 2018 年産米と 2019 年産米の分が計上されている。

注 2: 雇用労賃について、ここでは年収を B 法人 2019 年年間総労働時間実績値で除した時給換算値を用いて計上した。

注 3: 作業競合を設定した機械の合計機械作業時間と制約量の検証結果を示す。具体的には、田植機は移植、湛水直播の合計、トラクタ A は耕起耕転 (ブラウ耕)、土壌改良 (整地) の合計、トラクタ B は耕起耕転 (スタブル耕)、代かき、乾田直播の合計である。

5. 分析手順

前述の分析視角を組み合わせ、最適営農計画を算出し、それらを作業リスク選好別に比較することで、RT 導入が先進大規模稲作法人経営に及ぼす影響を定量的に分析した（図 4-1）。その際に、基準となるシナリオとして、各作業リスク選好における RT 未導入・従事者数維持シナリオを位置づける。

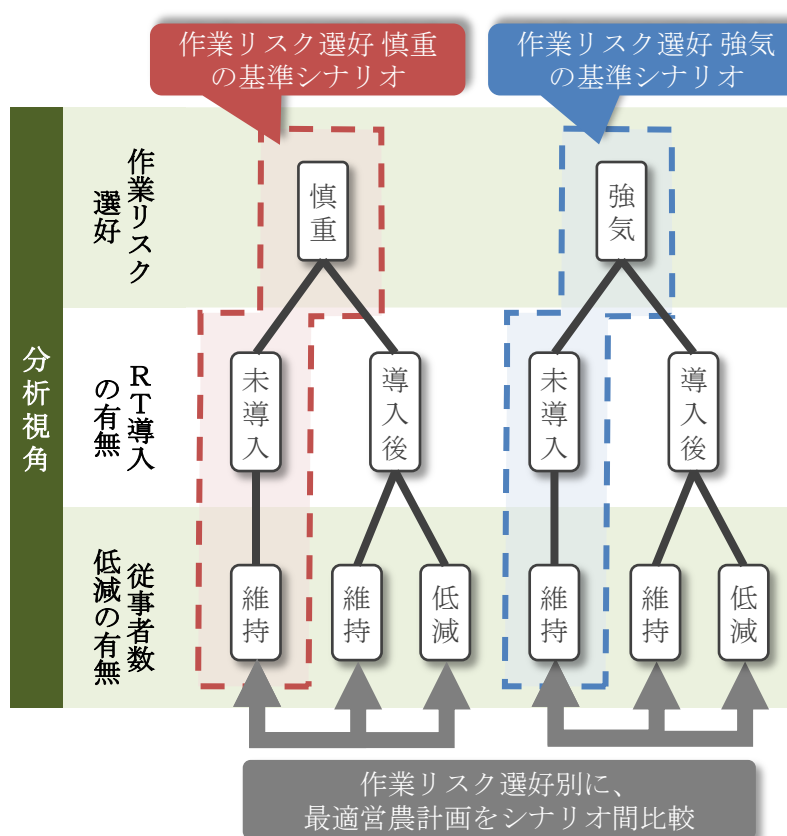


図 4-1 シナリオ分析の概念図

資料：筆者作成。

具体的には、第一に、RT 導入効果の分析の一助とするため、基準シナリオの最適農計画を分析した。具体的には、最適作付面積や年間総労働時間、経営費等を俯瞰した。また、基準シナリオで算出した最適農計画で得られた以上の収益向上を目指す際にボトルネックとなる制約条件を整理した。なお、参考として、RT 未導入・従事者数低減シナリオでも試算した。

第二に、RT が最適作付面積に及ぼす影響（規模拡大効果）、一人当たり年間総労働時間に及ぼす影響（労働代替効果）、玄米 1kg 当たり経営費に及ぼす影響（費用対効果）を分析した。費用対効果については、玄米 1kg 当たり経営費の増減分岐点分析と、玄米 1kg 当たり経営費の費目別の分析を行った。

玄米 1kg 当たり経営費の増減分岐点分析は、RT 導入に伴う費用許容額と市販価格試算値を比較した。これら比較について、RT 費用許容額より RT 導入費用が大きいと、RT 導入が玄米 1kg 当たり経営費の増加に繋がると解釈できる。RT 費用許容額は、RT 導入による玄米 1kg 当たり経営費の増減分岐点となる RT 一式年間費用（導入・運用・維持費用など）とし、

$$\begin{aligned} \text{「RT 費用許容額」} &= \\ & \left(\text{「基準シナリオの玄米 1kg 当たり経営費」} \right. \\ & \quad \left. - \text{「RT 導入後シナリオの玄米 1kg 当たり経営費・RT 費用除く」} \right) \\ & \quad \times \text{「RT 導入後シナリオの玄米収穫量」} \end{aligned}$$

で推計した。RT 市販価格試算値は 2020 年 10 月時点の自動化・ロボット技術の市販機販売価格帯（表 4-6）に基づいて推計した。なお、想定する RT の市販価格等が明らかではないため一部限定的な試算となるが、RT 導入が生産コストに及ぼす影響が十分に解明されていない中、RT 導入活用指針の一助となる知見を提供するために、本分析を試みている。

RT 市販価格試算値は、ロボット農機の場合、

「ロボット農機の市販価格試算値」＝

「市販の自動化・ロボット技術と通常仕様農機との市販価格差額」

$$\times \text{「ロボット機能を付加する保有農機台数」} \div \text{「耐用年数 7 年・定額法」}$$

で、トラクタ、田植機、コンバインそれぞれで推計した。換言すると、ロボット農機の RT 市販価格試算値は「ロボット機能」に相当する価格を用いており、それを付加する通常仕様農機（保有農機）の本体価格（減価償却費）は含まない。また、水管理用ロボットの場

合、

「水管理用ロボットの市販価格試算値」＝

「市販の自動化・ロボット技術 1 台当たり市販価格」×「水管理用ロボット導入台数」
÷「耐用年数 7 年・定額法」

で、給水用と排水用それぞれで推計した。これは、ロボット農機と異なり、「本体価格」を用いており、水管理用ロボットを必要台数分、新規導入する想定である。水管理用ロボット導入台数は、

「水管理用ロボット導入台数」＝「最適作付面積」÷「B 法人平均圃場面積 40a」

で試算した。

最後に、玄米 1kg 当たり経営費の費目別の分析では、RT 未導入シナリオと RT 導入後シナリオの玄米 1kg 当たり経営費を費目別に比較した。その際に、前述の RT 市販価格試算値を RT 導入後シナリオの固定費に算入して分析した。

なお、ここでの RT 費用許容額には、保有農機にロボット機能を付加する費用や水管理用ロボット本体導入費用に加えて、本論文で想定するように RT が完全無人で自律的に作業を行うために必要な機器設備等の導入や運用、維持に掛かる年間費用を含む。具体的には、位置情報等のデータ通信に必要な情報通信基地局（RTK やローカル 5G 等の基地局）、情報処理等を行うサーバ、播種機への種子運搬・補給や適時適切な水管理を判断するための生育調査等を行う技術（例えば、建設業界で実証されている資材運搬ドローン等の応用が想定される）等が考えられる。

表 4-6 自動化・ロボット技術の市販機販売価格帯

作業項目	市販の自動化・ロボット技術 1台当たり価格 ^(注1) (A)	市販の自動化・ ロボット技術と 同型の通常仕様農機 1台当たり価格 (B)	市販の自動化・ロボット技術 と通常仕様農機との 1台当たり差額 ^(注2) (A-B)
田植機 作業	396～625万円 (8条植え)	325～455万円 (8条植え)	70～170万円
コンバイン 作業	1,895万円 (自脱6条刈り)	1,755万円 (自脱6条刈り)	140万円
トラクタ 作業	1,242～1,550万円 (65～113ps)	933～1240万円 (65～113ps)	310～380万円
水管理 作業	【開水路給水用】 7～16万円（遠隔制御機能有り）、 6万円（遠隔制御機能無し）	—	—
	【パイプライン給水用】 12～15万円（遠隔制御機能有り）、 6～14万円（遠隔制御機能無し）		
	【排水用】 12万円（遠隔制御機能有り）		

資料：市販機の販売価格を参考に筆者作成。

注1：本体の税抜き販売価格（2020年10月1日時点）。GPS等基地局導入費や通信費等の運用・維持費は含まない。

注2：メーカーによって、市販の自動化・ロボット技術と同型農機（通常仕様）の差額に差異が見られた。そのため表中の値のうち、「市販の自動化・ロボット技術1台当たり価格（A）」の上限値（もしくは下限値）から「市販の自動化・ロボット技術と同型の通常仕様農機1台当たり価格（B）」の上限値（もしくは下限値）を差し引いた値と、「市販の自動化・ロボット技術と通常仕様農機との差額（A-B）」の上限値（もしくは下限値）は必ずしも一致しない。

第3節 結果および考察

1. 基準シナリオにおける最適営農計画とボトルネックの整理

各シナリオにおける最適営農計画（一部抜粋）を表 4-7 に示す。また、その時の旬別労働時間を図 4-2 に、コンバイン・収穫作業の旬別作業時間を図 4-3 に示す。ここでは、基準シナリオ（RT 未導入・従事者数維持シナリオ）の最適営農計画に着目する。

作業リスク選好慎重における基準シナリオでは、最適作付面積（合計）が 82.6ha であり、技術体系別の作付面積（上位 3 つ）は「あきたこまち・特別栽培・4 月下旬」で 16.1ha、「コシヒカリ・特別栽培・5 月中旬」で 13.7ha、「コシヒカリ・有機栽培・5 月上旬」で 11.6ha であった。その他の経営指標をみると、玄米収穫量は 361.3t、売上高は 1.1 億円、年間総労働時間は 9644.3 時間、経営費は 6464.7 万円であった。この慎重な作付計画では、過去 20 年間の降雨条件で作業遅延・不能は全く（1 旬も）発生しない。さらなる収益向上のボトルネックは作業リスク制約のコンバイン・収穫作業（8 旬：8 月中旬～10 月下旬）やトラクタ・代かき作業（1 旬：5 月上旬）であり、労働力制約や土地制約、施設制約はボトルネックではなかった。

作業リスク選好強気における基準シナリオでは、最適作付面積（合計）が 128.3ha であり、技術体系別作付面積（上位 3 つ）は「一番星・特別栽培・4 月下旬」で 20.0ha、「コシヒカリ・特別栽培・5 月中旬」で 18.0ha、「ミルキークイーン・特別栽培・5 月下旬」で 17.2ha であった。その他の経営指標をみると、玄米収穫量は 535.6t、売上高は 1.7t、年間総労働時間は 14539.5 時間/人、経営費は 9395.3 万円であった。この強気な作付計画では、過去 20 年間の降雨条件の平均値で農作業ができる計画となっている。そのため、個々の年に着目すると、コンバイン・収穫作業では毎年（20 年）少なくとも 1 旬で作業遅延・不能となる等、複数の作業で作業遅延・不能となるリスクがある作付計画となっている。収益向上のボトルネックは労働力制約の移植時期作業（1 旬：5 月上旬）や収穫時期作業（3 旬：8 月中旬、9 月上旬、10 月下旬）と、作業リスク制約のコンバイン・収穫作業（5 旬：9 月上旬～10 月上旬、10 月下旬）やトラクタ・代かき作業（2 旬：4 月下旬、5 月中旬）、紙マルチ田植機・移植作業（1 旬：5 月上旬）であった。土地制約や施設制約はボトルネックではなかった。

参考として、RT 未導入・従事者数低減シナリオで試算し、基準シナリオと比較した結果、慎重シナリオでは最適営農計画に変化は見られなかった一方、強気シナリオでは作付面積合計が減少した。これは慎重シナリオにおいて従事者数が 1 人低減（労働可能時間減

少) した場合においても、労働力制約がボトルネックにはならなかったためである。

なお、本モデルは作付面積規模 150ha の経営を想定したが、強気シナリオにおいても最適作付面積が 150ha に到達しておらず、年間総労働時間も B 法人実績値に比較して小さかった。この要因は、前述の設定の通り、働き方改革の観点から労働可能時間を 8 時間/日・人（残業なし）としたこと、気候変動対応を考慮し多雨年を想定したことが考えられた。このような設定・前提条件のモデルを用いたシナリオ分析結果の妥当性について、B 法人経営者にヒアリングを実施した。その結果、本章の分析結果は、モデルの設定・前提条件等を鑑みても、現場感覚として妥当性がある旨のコメントを得ており、本章の設定・前提条件の下での分析結果は妥当性があると判断した。

以上の分析結果を踏まえて、稲作法人経営の作付面積や労働時間、生産コストに関する RT 導入効果を分析した。ところで、本論文の問題意識に基づいた分析指標ではないが、収益（会社利益と役員報酬の合計）をみると、現状市販機価格帯より推計した RT 市販価格試算値を固定費に計上する場合、RT 導入によってほとんどのシナリオで減少しており（表 4-7）、RT 導入が収益向上に直結しないことが示唆される。

表 4-7 シナリオ別の最適営農計画（一部抜粋）

シナリオ分析 オ	作業リスク選好 RT導入の有無 従事者数低減の有無	慎重				強気				参考： 実績 試算値 〔注1〕
		未導入		導入後		未導入		導入後		
		維持 （基準）	低減 （参考）	維持	低減	維持 （基準）	低減 （参考）	維持	低減	
技術体系別 作付面積 〔ha〕	一番星・特別栽培・4月中旬	10.4	10.4	10.4	10.4	11.6	8.9	15.6	15.6	3.4
	一番星・特別栽培・4月下旬	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	17.0	0.0	16.0	16.8
	あきたこまち・特別栽培・4月下旬	16.1	16.1	16.1	16.1	0.0	3.0	20.0	4.0	6.6
	あきたこまち・特別栽培・5月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	2.3	2.3	12.9
	コシヒカリ・特別栽培・5月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3
	コシヒカリ・特別栽培・5月中旬	13.7	13.7	13.7	13.7	18.0	18.0	18.0	18.0	23.1
	コシヒカリ・特別栽培・5月下旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8
	コシヒカリ・有機栽培・5月上旬	11.6	11.6	11.6	11.6	15.3	14.8	15.3	15.3	3.3
	あきだわら・慣行栽培・5月下旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	3.0
	ミルキークイーン・特別栽培・5月下旬	6.3	6.3	6.3	6.3	17.2	17.2	17.2	17.2	5.0
	あさひの夢・特別栽培・6月上旬	3.8	3.8	3.8	3.8	0.0	0.0	6.5	0.0	8.5
	ゆめひたち・特別栽培・6月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2
	ゆめひたち・特別栽培・6月中旬	5.5	5.5	5.5	5.5	13.0	5.4	12.6	15.9	5.7
	にじのきらめき・特別栽培・6月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
	ふわりもち・特別栽培・6月中旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
	マンゲツモチ・特別栽培・6月中旬	8.6	8.6	8.6	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2
	マンゲツモチ・特別栽培・6月下旬	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	11.8	11.7	4.3	7.6
	あきだわら・乾田直播・4月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	4.3	0.0	0.0	10.6
	にこまる・乾田直播・4月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5	13.5	13.7	18.8	2.8
	あきだわら・湛水直播・5月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6
	あきだわら・湛水直播・5月中旬	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	0.0	0.0	1.1
	にこまる・湛水直播・5月上旬	6.6	6.6	6.6	6.6	1.2	0.6	2.4	2.4	0.4
経営指標 〔注2〕	最適作付面積〔合計〕〔ha〕	82.6	82.6	82.6	82.6	128.3	120.5	135.3	129.8	150.3
	玄米収穫量〔t〕	361.3	361.3	361.3	361.3	535.6	511.4	571.3	539.0	573.1
	年間総労働時間〔時間/年〕	9644.3	9644.3	7066.0	7066.0	14539.5	13640.5	11240.9	10744.7	16768.9
	売上高〔億円〕	1.1	1.1	1.1	1.1	1.7	1.6	1.8	1.7	1.6
	経営費（RT費用除く）〔万円〕	6464.7	6464.7	6008.4	6008.4	9395.3	8896.5	9063.5	8818.0	11323.4
	収益（RT費用除く）〔万円〕	4561.3	4561.3	5017.6	5017.6	7258.3	6723.9	8495.3	8176.1	4416.8
	経営費（RT市販価格試算値含む）〔万円〕	—	—	6764.6～ 7151.7	6764.6～ 7151.7	—	—	10163.7～ 10754.2	9882.4～ 10451.7	—
作業発生する年数 〔注3〕	収益（RT市販価格試算値含む）〔万円〕	—	—	3874.3～ 4261.4	3874.3～ 4261.4	—	—	6804.6～ 7395.1	6542.5～ 7111.7	—
	田植機：移植	0/20	0/20	0/20	0/20	4/20	10/20	4/20	4/20	20/20
	田植機：湛水直播	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
	紙マルチ田植機：移植	0/20	0/20	0/20	0/20	4/20	2/20	4/20	4/20	0/20
	コンバイン：収穫	0/20	0/20	0/20	0/20	20/20	19/20	20/20	20/20	20/20
	トラクタ：耕起耕耘	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
	トラクタ：土壌改良（整地）	0/20	0/20	0/20	0/20	5/20	1/20	8/20	5/20	20/20
	トラクタ：代かき	0/20	0/20	0/20	0/20	7/20	10/20	10/20	6/20	20/20
	トラクタ：乾田直播	0/20	0/20	0/20	0/20	3/20	3/20	1/20	3/20	1/20

資料：FVS-FAPS による計算結果をもとに筆者作成。

注1：各技術体系の作付面積および単収の水準をB法人の実績値（2019年）に固定した時の値である。

注2：「RT費用除く」はRTの本体導入費や運用・維持費を計上していない。「RT市販価格試算値含む」はRT市販価格試算値を計上し、RTの運用・維持費は計上していない。収益は会社利益と役員報酬の合計である。

注3：過去20年間の降雨条件のうち、作業遅延・不能となる旬が1旬でも発生する年数を計上している。

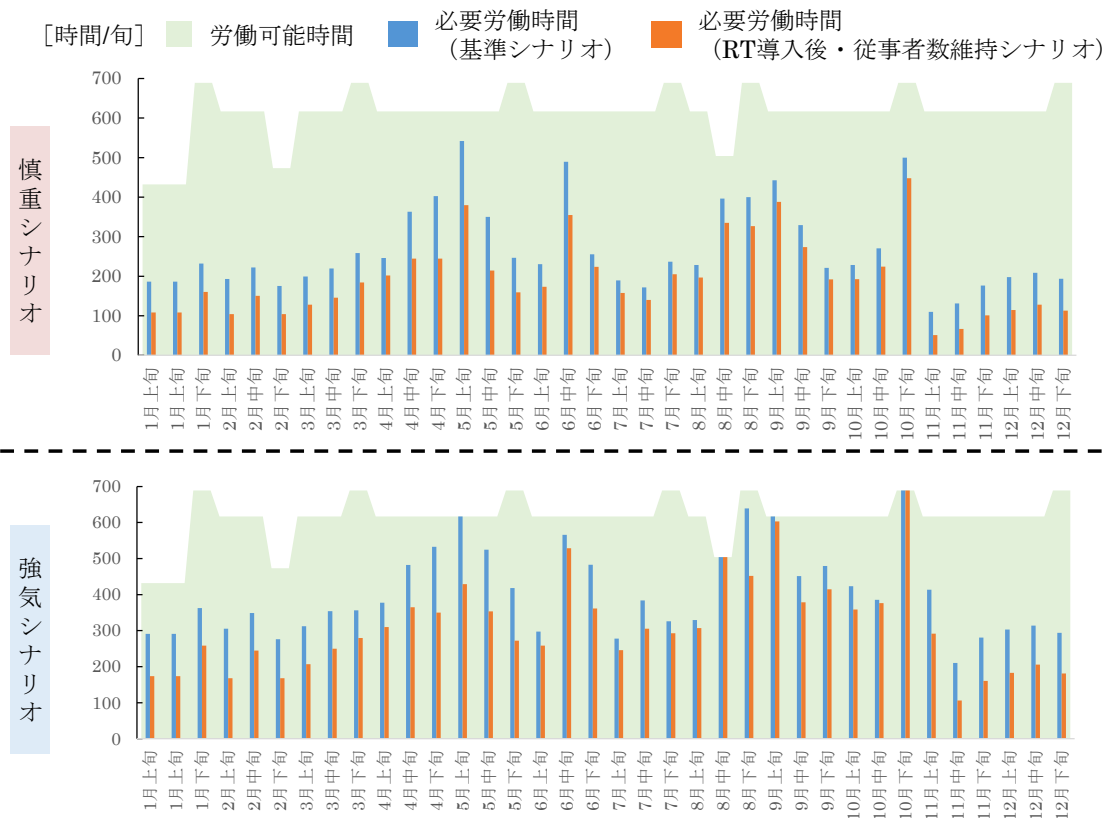


図 4-2 最適営農計画における旬別労働時間（一部抜粋）

資料：FVS-FAPS による計算結果をもとに筆者作成。

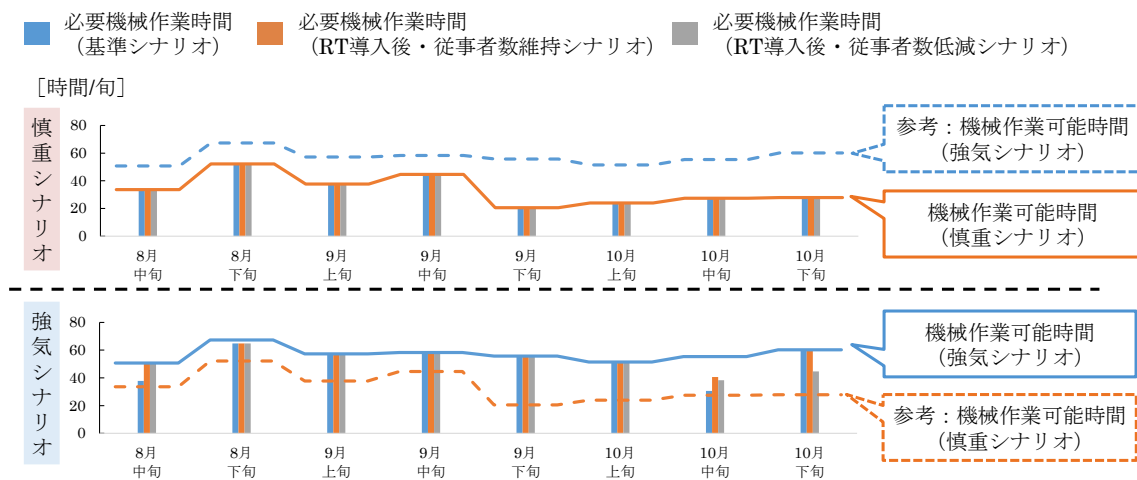


図 4-3 最適営農計画における旬別機械作業時間（コンバイン・収穫作業を抜粋）

資料：FVS-FAPS による計算結果をもとに筆者作成。

注 1：機械作業可能時間について、慎重シナリオは機械作業可能時間の最小値を設定した。これは過去 20 年間（2000 年～2019 年）のいずれの降雨パターンにおいても、作業遅延・不能とならずに作業が実施できる時間である。また、強気シナリオは同 20 年間の機械作業可能時間の平均値を設定した。

2. ロボット技術が最適作付面積に及ぼす影響（規模拡大効果）

RT が最適作付面積（以下、すべて合計）に及ぼす影響（規模拡大効果）を図 4-4 に示す。

慎重シナリオで RT を導入した場合、従事者数維持・低減シナリオともに、最適作付面積は変化しなかった。慎重シナリオで分析した既存研究は筆者以外では見られない中、筆者の既存研究（南石・馬場ら 2019、馬場ら 2019）では、慎重・従事者数維持シナリオにおいて RT 導入によって最適作付面積が増加し、従事者数低減シナリオにおいて RT 導入によって最適作付面積が増加する場合と減少する場合（RT 個別導入）の結果が得られている。これらと本章の結果の差異は、各研究に用いた数理計画モデルにおける基準シナリオのボトルネックの差異が要因と考えられた。本章のボトルネックは作業リスク制約のみであった一方、筆者の既存研究では作業リスク制約に加えて労働力制約もボトルネックであった。また、本章の基準シナリオでは従事者数 1 人を低減して労働可能時間が小さくなっても、依然として作業リスク制約のみがボトルネックであった。したがって、ボトルネックが作業リスク制約のみの先進大規模稲作法人経営では、労働代替（省力化）が可能な RT を導入しても最適作付面積は変化しないと考えられた。

強気シナリオで RT を導入した場合、最適作付面積は従事者数維持シナリオで 5.5%増加し、従事者数低減シナリオで 1.2%増加した。対象技術の自動化・ロボット化段階の想定や対象作物等の違いから直接比較はできないが、自動化・ロボット技術導入によって、松本（2016a）は最適作付面積が約 2~4 割増加し、塩谷ら（2019）は最適作付面積が最大約 2 割増加している。このように研究事例によってばらつきはあるものの、作業リスク選好が強気な場合は自動化・ロボット技術が規模拡大に貢献することが明らかになった。ただし、本章で想定した作業・操作の完全自動化を実現する RT の規模拡大効果は、既存研究のように一部自動化（農業者による操作・作業が必要）に留まる自動化・ロボット技術の規模拡大効果よりも小さい結果であった。この一因は既存研究が稲作以外に麦・大豆作等を含む水田作経営を想定した数理計画モデルを構築していることが考えられた。したがって、稲作主要作業を完全自動化しても、水稻単作の稲作法人経営の規模拡大に及ぼす影響は限定的であるといえる。このことについて、松本（2016a）は、自動化・ロボット技術はそれぞれ特定作業の自動化に特化しており、自動化・ロボット技術が対応しない他の作業がボトルネックになり、十分な規模拡大効果が得られない場合があることを指摘している。

以上より、稲作主要作業を完全自動で行う RT は、強気シナリオでは 1.2~5.5%の最適

作付面積の拡大に寄与するが、慎重シナリオでは規模拡大に寄与しないことが明らかになった。これについて、強気シナリオの基準シナリオでは、慎重シナリオと対照的に、労働力制約もボトルネックとなっていたため、RT 導入によって最適作付面積が増加する結果が得られたと考えられた。換言すると、作業リスク選好によって作業リスク制約の最適営農計画への影響度合が変化し、労働力制約がボトルネックになるか否かが規定される。他方で、従事者と同等の性能（作業時間・精度）を有する RT は、機械作業に係る作業リスク制約のボトルネック解消には貢献せず、労働力制約のボトルネック解消のみに貢献する。したがって、RT の規模拡大効果の発現の有無や程度が、作業リスク選好によって異なる結果が得られたと考えられた。

また、従事者数低減シナリオについて、強気シナリオでは RT の規模拡大効果が発現した。つまり、作業リスク選好が強気な経営では、RT を体系的に導入することによって従事者 1 人の労働を代替しつつ規模拡大ができると考えられた。これは RT が将来的な労働力不足対応に貢献できる可能性があるといえる。ただし、強気シナリオの場合、過去 20 年間の降雨条件のうち、作業遅延・不能となる旬が 1 旬でも発生する年数は、コンバイン・収穫作業では毎年（20 年）である等（表 4-7）、作業リスクが大きい作付計画となっている点は留意が必要である。

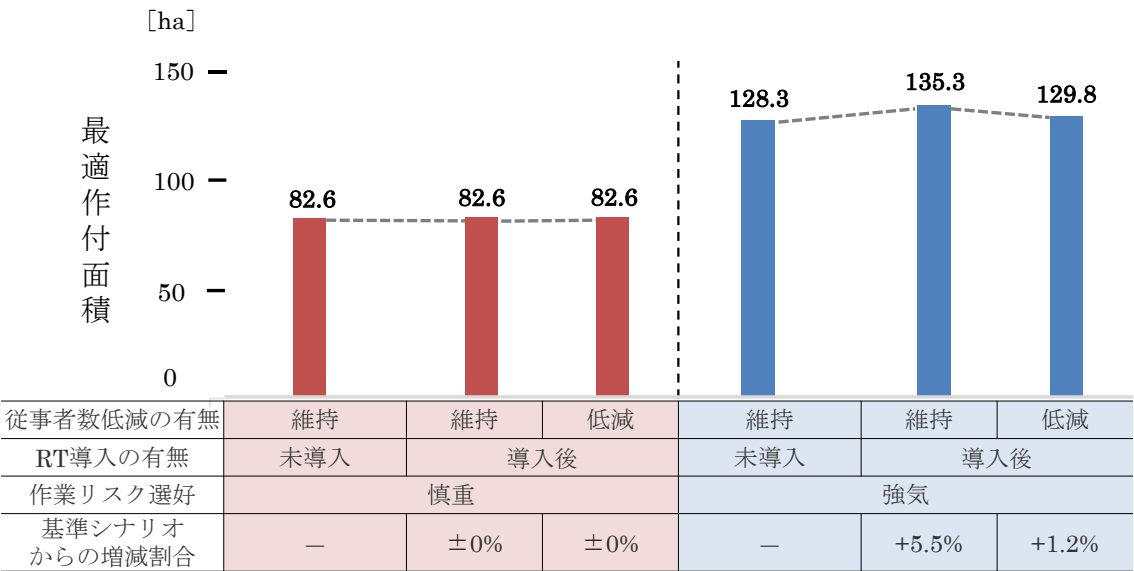


図 4-4 ロボット技術が最適作付面積に及ぼす影響

資料：FVS-FAPS による計算結果をもとに筆者作成。

3. ロボット技術が1人当たり年間総労働時間に及ぼす影響（労働代替効果）

RT が1人当たり年間総労働時間に及ぼす影響（労働代替効果）を図 4-5 に示す。

慎重シナリオで RT を導入した場合、1人当たり年間総労働時間は従事者数維持シナリオで 26.7%低減し、従事者数低減シナリオで 17.6%低減した。作業リスク選好が慎重な想定で分析した馬場ら（2019）でも同様に、RT 導入によって1人当たり年間総労働時間が従事者数維持シナリオでは 34.2%低減し、従事者数低減シナリオでは 21.1%低減している。両研究結果から、作業を完全自動化する RT 導入は、従事者数維持・低減に関わらず、1人当たり年間総労働時間の低減に寄与することが明らかになった。

強気シナリオで RT を導入した場合、1人当たり年間総労働時間は従事者数維持シナリオで 22.7%低減し、従事者数低減シナリオで 16.9%低減した。作業リスク選好が強気な想定で分析した松本（2016a）では、自動化・ロボット技術導入によって1人当たり年間総労働時間が 11.9～48.0%増加している。松本（2016a）は作業を一部自動化する自動化・ロボット技術を想定しているが、本章のような作業を完全自動化する RT を想定した場合、RT 導入によって最適作付面積が増加しても、1人当たり年間総労働時間の低減に貢献することが明らかになった。つまり、規模拡大による年間総労働時間の増加よりも、RT 導入による省力化の影響の方が大きかったと考えられた。

以上より、完全無人作業を実現する RT 導入は、作業リスク選好および従事者数低減の有無に関わらず、1人当たり年間総労働時間の低減に貢献し、RT の労働代替効果があることが明らかになった。作業リスク選好間で比較すると、強気シナリオに比較し、慎重シナリオでは労働代替効果が大きい傾向が見られた。これは1人当たり年間総労働時間が作付面積に規定されることから、作業リスク選好による最適作付面積の差異が影響したと考えられた。具体的には、強気シナリオでは RT 導入によって最適作付面積が増加した結果、1人当たり年間総労働時間の低減度合が小さくなったと考えられた。

従事者数低減シナリオについて、従事者数が1名低減した場合においても、RT 導入による労働代替効果が発現した。これは従事者数低減による1人当たり年間総労働時間の増加に比較し、RT 導入による省力化の影響の方が大きいため、RT の労働代替効果が発現したと考えられた。

なお、RT の種類によって労働代替効果の程度は異なる。これは RT が代替する作業の 10a 当たり作業時間が異なるためである。例えば、トラクタに係る作業は他の作業に比較して 10a 当たり作業時間が最も長く（表 4-1）、ロボットトラクタの労働代替効果も大

きい。

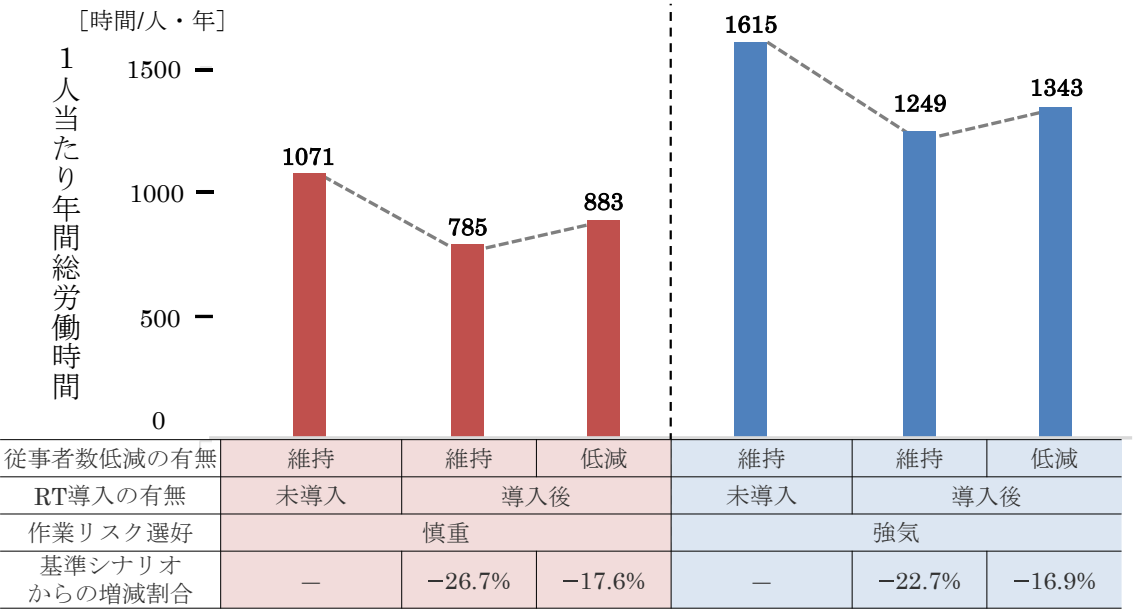


図 4-5 ロボット技術が1人当たり年間総労働時間に及ぼす影響

資料：FVS-FAPSによる計算結果をもとに筆者作成。

4. ロボット技術が玄米 1kg 当たり経営費に及ぼす影響（費用対効果）

（1）玄米 1kg 当たり経営費の増減分岐点分析

RT 費用許容額と RT 市販価格試算値を図 4-6 に示す。なお、RT 費用許容額は RT 本体導入費用に加えて運用・維持費も含むが、RT 市販価格試算値には運用・維持費が含まれない点を留意されたい。

慎重シナリオでは、RT 未導入・導入後シナリオの玄米 1kg 当たり経営費から推計した RT 費用許容額は、従事者数維持・低減シナリオともに、456 万円/年であった。一方、現状市販機価格帯から試算した RT 市販価格試算値は、従事者数維持・低減シナリオともに、756～1143 万円/年であった。これらを比較すると、RT 費用許容額を RT 市販価格試算値が上回っているため、現状市販機価格帯では RT 導入が玄米 1kg 当たり経営費の増加に繋がる結果になった。慎重シナリオでは、従事者数維持・低減シナリオともに RT 導入によって最適作付計画が変化しなかったため、RT 費用許容額や RT 市販価格試算値も、従事者数低減の有無に関わらず、同様の結果となった。

強気シナリオでは、RT 未導入・導入後シナリオの玄米 1kg 当たり経営費から推計した RT 費用許容額は、従事者数維持シナリオで 958 万円/年、従事者数低減シナリオで 636 万円/年であった。一方、現状市販機価格帯から試算した RT 市販価格試算値は、従事者数維持シナリオで 1100～1691 万円/年、従事者数低減シナリオで 1064～1634 万円/年であった。これらを比較すると、従事者数維持・低減シナリオともに、RT 費用許容額を RT 市販価格試算値が上回っているため、強気シナリオでも同様に、現状市販機価格帯では RT 導入が玄米 1kg 当たり経営費の増加に繋がる結果になった。

以上より、現状市販機価格帯では、作業リスク選好や従事者数維持・低減に関わらず、RT 費用許容額を RT 市販価格試算値が上回り、RT 導入が玄米 1kg 当たり経営費の増加に繋がり、生産コスト低減効果が発現しないことが明らかになった。RT 費用許容額よりも RT 市販価格試算値の方が大きくなった主な要因として、水管理完全自動化のために水管理用ロボットの全圃場設置（作付面積 40a につき 1 セット設置）を想定したことが考えられた。この想定の結果、水管理用ロボットの導入セット数が 214～351 セットとなり、RT 市販価格試算値のうち水管理用ロボットの費用は 7～8 割を占めた。

ここで、水管理用ロボットの経済性について、実証試験をもとに評価した既存研究（農研機構 2017、2019、南石 2020a）では、水管理用ロボットには収益向上効果があること

を明らかにしている。また、南石（2020a）は水管理用ロボットが経済性を持つためには、省力化と収量向上の両面の効果が重要であると指摘している。指標や研究方法が異なるため直接比較はできないものの、既存研究と本章の結果の乖離は、本章が労働力不足対策の観点から水管理用ロボットの省力化効果のみに焦点を当てて分析したためと考えられた。しかし、これは換言すると、本章の数値計画法による分析結果から、水管理用ロボットの省力化効果のみでは生産コストが低減しないことを明らかにしたといえ、南石（2020a）の指摘を数値計画法でも補強するものと考えられた。なお、水管理用ロボットの収量向上効果も含めた数値計画法を援用した評価は今後の課題としたい。

作業リスク選好に着目すると、強気シナリオと比較し、慎重シナリオの方が、RT 費用許容額や RT 市販価格試算値は小さい結果となった。RT 費用許容額について、RT 導入による玄米 1kg 当たり経営費（RT 費用除く）の低減度合が、強気シナリオよりも慎重シナリオの方が小さかったためと考えられた。また、RT 市販価格試算値について、最適作付面積が相対的に小さい慎重シナリオでは、前述の水管理用ロボット導入セット数が小さくなった結果であると考えられた。

ところで、本章の分析では RT 費用許容額を RT 市販価格試算値が下回らなかったが、RT 費用許容額から RT 市販価格試算値を差し引いた金額は RT 運用・維持費の許容額とも捉えられる。例えば、ロボット農機の完全自動化に向けてはローカル 5G 等の最先端の情報通信技術が重要になり、そのサービス利用が必須になると考えられる。つまり、現状市販機価格帯や情報通信サービス利用料、点検・修理費、保険・税金等を考慮とすると、想定する RT 導入がさらなる生産コストの増加に繋がることが懸念される。また、強気シナリオの場合、表 4-7 に示すように、作業遅延・不能となるリスクの大きい作付計画であり、刈り遅れに伴う玄米収穫量の減少等が玄米 1kg 当たり経営費の増加に繋がる可能性がある点は留意が必要である。このことから、RT が生産コスト低減に貢献するためには、RT 本体や情報通信技術等におけるより一層の低コスト化開発の必要性が示唆された。

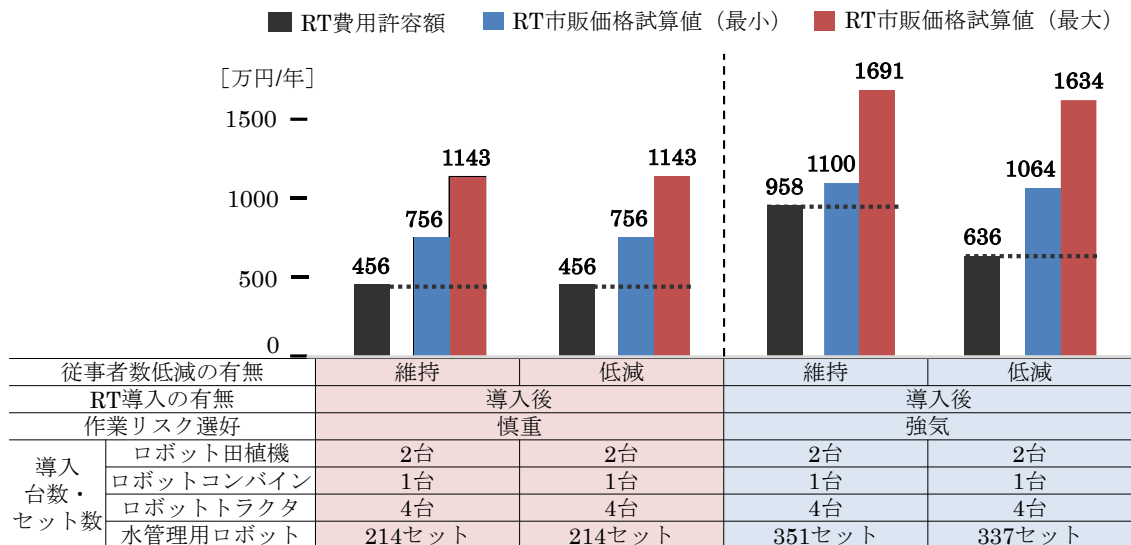


図 4-6 ロボット技術の費用許容額と市販価格試算値

資料：FVS-FAPS による計算結果や、自動化・ロボット技術の市販価格をもとに筆者作成。

注 1：RT 費用許容額は RT 導入・運用・維持に係る費用を含まない。また、RT 市販価格試算値は本体導入費用のみで、運用・維持にかかる費用を含まない。

注 2：参考として、ロボット機能付加前の B 法人保有農機（田植機、コンバイン、トラクタ）の減価償却費（耐用年数 7 年、定額法 1 年目、12 か月分）を取得価額から算出した結果、635.1 万円であった。ただし、これには減価償却が終了している農機の減価償却費も含む。

（2） 玄米 1kg 当たり経営費の費目別の分析

現状市販機価格帯より試算した RT 市販価格試算値を固定費に算入した、玄米 1kg 当たり経営費を図 4-7 に示す。

慎重シナリオでは、RT 導入によって、玄米 1kg 当たり経営費（RT 市販価格試算値含む）は、従事者数維持・低減シナリオともに、4.6～10.6%増加した。その主な内訳をみると、玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃が 26.7%低減した一方、玄米 1kg 当たり固定費（RT 市販価格試算値含む）が 55.9～84.5%増加した。なお、慎重シナリオでは、RT を導入しても最適作付計画は変化せず、玄米収穫量も変化しなかったため、玄米 1kg 当たり固定費（RT 費用除く）や玄米 1kg 当たり変動費、玄米 1kg 当たり支払い地代は変化しなかった。

強気シナリオでは、RT 導入によって、玄米 1kg 当たり経営費（RT 市販価格試算値含む）は、従事者数維持シナリオで 1.4～7.3%、従事者数低減シナリオで 4.5～10.5%増加した。その主な内訳をみると、玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃が従事者数維持シナリオ 27.5%低減し、従事者数低減シナリオで 26.6%低減した一方、玄米 1kg 当たり固定費（RT 市販価格試算値含む）が従事者数維持シナリオで 70.0～111.0%増加し、従事者数低減シナリオ

で 77.6～119.4%増加した。

ここで、作業リスクを明示的に考慮していないこと等から直接比較はできないが、松本（2020）は、自動化・ロボット技術導入による経営面積等の拡大が 10a 当たり固定費の低減に寄与し、結果として 60kg 当たり生産費が低減することを数理計画法で明らかにしている。松本（2020）は稲・麦・大豆輪作経営を想定し、自動化・ロボット技術導入によって最適作付面積が 40%増加する結果を得たため、自動化・ロボット技術導入が生産コストの低減に寄与していると考えられた。一方、本章の想定する経営像とした水稻単作の稲作法人経営においては、RT 導入による最適作付面積の拡大が限定的であり、それに伴い玄米 1kg 当たり固定費の低減に繋がらず、結果として玄米 1kg 当たり経営費の増加に繋がったと考えられた。他方、松本（2020）は支払い雇用労賃について明示的に言及していない中、本章の結果は、稲作法人経営における RT 導入は、労働代替効果によって、玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃の低減への影響が大きいことを示唆している。

以上より、稲作法人経営における RT 導入は、作業リスク選好や従事者数低減の有無に関わらず、労働代替効果による玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃の低減に貢献する一方、現状市販機価格帯の RT 導入費用や限定的な規模拡大効果によって玄米 1kg 当たり固定費（市販価格試算値含む）がより大きく増加し、結果として玄米 1kg 当たり経営費（市販価格試算値含む）の増加に繋がることが明らかになった。つまり、生産コスト面でみた RT の費用対効果は発現しないことが明らかになった。RT 導入が生産コスト増加に繋がる結果は、スマート農業実証プロジェクトの結果（農林水産省・農研機構 2020）とも整合的であり、数理計画法によってより一般化したといえる。

作業リスク選好間で比較すると、強気シナリオに比較し、慎重シナリオでは玄米 1kg 当たり経営費（RT 市販価格試算値含む）の増加割合が大きいもしくは同等であった。また同様に、玄米 1kg 当たり固定費（RT 市販価格試算値含む）の増加割合が小さく、玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃の減少割合は小さいもしくは同等の傾向にあった。玄米 1kg 当たり固定費（RT 市販価格費用試算値含む）について、RT 市販価格試算値の多くを占める水管理用ロボットは作付面積に応じて導入セット数を試算しているためと考えられた。このため、最適作付面積が小さい慎重シナリオでは、その導入費用の影響も小さくなり、結果として玄米 1kg 当たり固定費（RT 市販価格試算値含む）の増加割合も小さくなったと考えられた。また、玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃について、強気・従事者数維持シナリオのみで RT 導入による低減割合が大きく、これは RT 導入による玄米収穫量の増加が他シナ

リオよりも大きいことが一因として考えられた。そして、これらのことが複合的に影響した結果、作業リスク選好間での玄米 1kg 当たり経営費（RT 市販価格試算値含む）の差異に繋がったと考えられた。

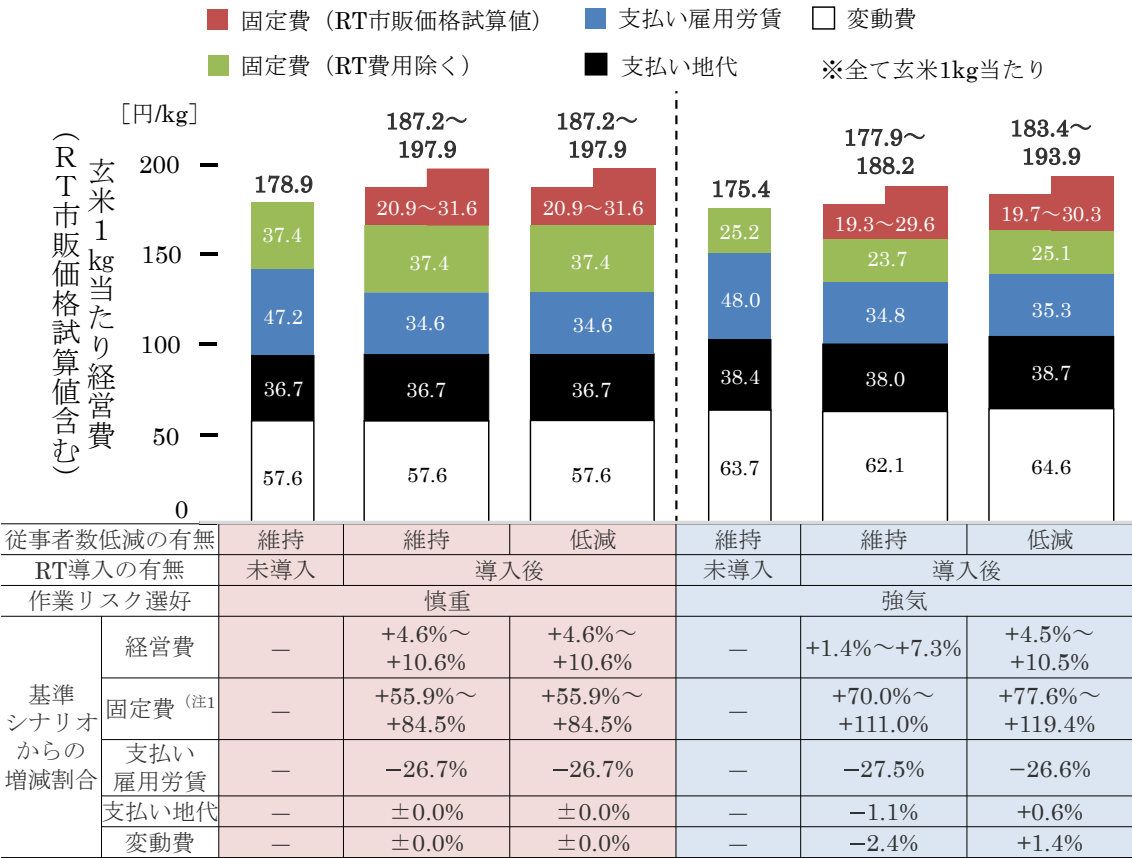


図 4-7 ロボット技術が玄米 1kg 当たり経営費に及ぼす影響

資料：FVS-FAPS による計算結果や、自動化・ロボット技術の現状市販機価格帯をもとに筆者作成。
注 1：基準シナリオからの増減割合で用いた固定費は、固定費（RT 市販価格試算値）と固定費（RT 費用除く）の合計値である。

第4節 おわりに

本章では、図 1・3 における「技術」の軸に着目し、ロボット技術が稲作法人経営の作付面積（規模拡大効果）や労働時間（労働代替効果）、生産コスト（費用対効果）に及ぼす影響について、作業リスクや働き方改革の観点を考慮した数理計画モデルを用いて定量的に分析した。分析の結果、稲作法人経営の技能水準と同等の性能（作業時間・精度）を有するロボット技術の導入は、作業リスクに慎重な経営では最適作付面積を変化させず、強気な経営では最適作付面積を増加させるがその程度は限定的であることが明らかになった。また、作業リスク選好に関わらず、1 人当たり年間総労働時間の低減および玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃の低減に寄与するものの、現状市販価格帯では玄米 1kg 当たり経営費の増加に繋がることが明らかになった。換言すると、稲作法人経営において、ロボット技術の規模拡大効果は作業リスク選好によってその有無が規定され、労働代替効果は作業リスク選好によらず見られ、費用対効果は現状市販機価格帯では作業リスク選好によらず見られないことが明らかになった。

以上より、技能水準と同等の性能を有するロボット技術の導入は、稲作法人経営における労働代替効果が期待される一方、現在の技術的課題解決や運用上の法律的な規制緩和が行われたとしても、現状市販機価格帯では生産コストの低減には直結せず、作業リスク選好によっては規模拡大にも繋がらないことが示唆された。また、作業リスクに慎重な経営は、技能水準と同等の性能を有するロボット技術を導入しても経営規模は拡大できず、生産コスト面でも課題が残るため、ロボット技術導入のメリットは労働時間低減（省力化）の面が多くを占めることが示唆された。

第5章 稲作法人経営における技能水準が ロボット技術の導入効果に及ぼす影響 —作業リスク選好を考慮した数理計画法による分析—

第1節 はじめに

第3章では稲作法人経営における技能の影響を、第4章では稲作法人経営におけるロボット技術の影響を明らかにした。第1～2章で述べたように、技能と技術は密接に関連しており、それらの関係を踏まえて総合的に分析する必要がある。

そこで本章では、図 1-3 における「技能」と「技術」の両軸に着目し、稲作主要作業の技能水準が、稲作法人経営におけるロボット技術の規模拡大効果や労働代替効果に及ぼす影響を定量的に明らかにする。本章における技能やロボット技術の想定は、第3章の技能水準別シナリオや、第4章のロボット技術の前提条件を参考にする。また、数理計画モデルは第4章と同様のモデルを用い、熟練者水準の性能（作業時間・精度）を有するロボット技術導入の有無や作業リスク選好による最適営農計画の差異を分析する。

第2節 データおよび方法

本章では、第4章と同様に、茨城県所在の先進大規模稲作法人経営であるB法人を参考に構築した数理計画モデルを用いた。また分析視角として、第3章の技能水準別シナリオ、第4章の作業リスク選好とRT導入の有無を参考にした。

B法人の技能水準について、従事者の就農年数や特定作業専属の作業体制等を鑑みると、熟練者水準の技能を有した熟練者経営と推察できた。そこで、第4章で用いた数理計画モデルの分析を熟練者（実績）シナリオとし、対して従事者全員が初心者の場合を仮想的に想定した初心者シナリオを設定した。その際、第3章と同様に、技能は主要稲作作業の作業能率（10a 当たり作業時間）のみに影響すると仮定した。また、初心者の作業能率は、表 3-1 における技能水準別の作業能率実績データ（松倉ら 2015）を参考に、B法人実績値から推計した（表 5-1）。具体的には、初心者の10a 当たり作業時間は、B法人熟練者（実績）比で、田植機作業 279%、コンバイン作業 335%、トラクタ作業 261%、水管理作業 250%とした。なお、B法人は主に従事者が特定作業に専属する作業体制を採用しており、初心者の実績データの入手が困難であったため、他事例の技能水準別データを用いた仮想的な分析を行なっている。

表 5-1 技能水準別作業能率の設定値

A法人モデル（第3章、松倉ら2015）					B法人モデル（本章）				
主要 使用 機械	作業 項目	作業能率： 10a当たり 作業時間 (時間/10a)		初心者の 10a当たり 作業時間の 熟練者比 (B/A)	主要 使用 機械	作業 項目	作業能率： 10a当たり 作業時間 (時間/10a)		対応 ロボット 技術
		熟練者 (A)	初心者 (B)				熟練者 (実績)	初心者 (推計)	
田植機	移植	0.24	0.67	279%	多目的 田植機	移植	0.32	0.91	ロボット 田植機
						湛水直播	0.26	0.74	
					紙マルチ 田植機	移植	0.44	1.23	
コンバイン	収穫	0.26	0.87	335%	コンバイン	収穫	0.32	1.09	ロボット コンバイン
トラクタ	耕起 耕耘、 代かき 等	1.65	4.31	261%	トラクタ	耕起耕耘	1.03	2.68	ロボット トラクタ
						土壌改良 (整地)	0.47	1.23	
						代かき	0.34	0.89	
						乾田直播	0.18	0.47	
—	水管理	2.80	7.00	250%	—	水管理	0.48	1.20	水管理用 ロボット

資料：松倉ら（2015）やB法人実績データを参考に筆者作成。

注1：B法人モデルの初心者作業能率推計値は、A法人モデル（第3章および松倉ら2015）の初心者の10a当たり作業時間の熟練者比を、B法人の10a当たり作業時間実績値（熟練者水準）に乗じて推計し、仮想的に設定した。

RTの前提条件は第4章と同様とし、RTを導入する作業項目と、技能が影響する作業項目は同じと仮定した。また、RTの稼働設定等に技能は影響せず、初心者と熟練者はともにRTの性能（作業時間・精度）を同水準で発揮できる前提とした。

分析の概念図を図5-1に示す。まず、熟練者（実績）シナリオと初心者シナリオの最適営農計画を比較することで、技能水準による最適営農計画の差異を分析した（分析A）。次に、初心者シナリオにおけるRT未導入・導入後シナリオの最適営農計画を比較することで、初心者経営におけるRT導入効果を分析した（分析B）。最後に、第4章の熟練者（実績）シナリオでの分析結果との比較を通して、稲作法人経営の技能がRT導入効果に及ぼす影響を分析した（分析C）。

なお、先述のデータ制約のため、初心者の雇用労賃設定が困難である上、想定したRTの費用も現状の自動化・ロボット技術の市販価格で代替することになるため、生産コスト試算結果の振れ幅（不確かさ）が大きくなる懸念が考えられた。そのため、これら費用が直接関係しない作付面積と労働時間に着目して分析した。

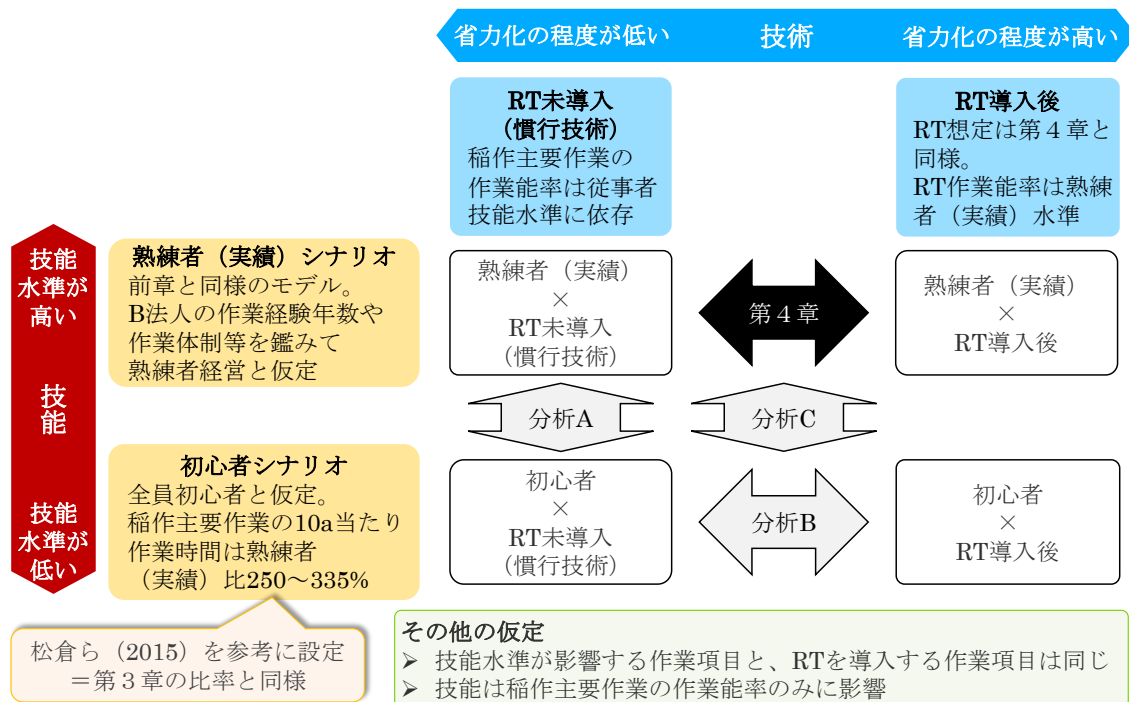


図 5-1 シナリオ分析の概念図

資料：筆者作成。

注1：B法人実績の作業能率を用いた分析を熟練者（実績）シナリオとする。

注2：作業能率は10a当たり作業時間である。

第3節 結果および考察

1. 技能水準による最適営農計画の差異（分析 A）

RT 未導入シナリオにおける各技能水準の最適営農計画（一部抜粋）を表 5-2 に示す。

リスク選好が慎重の場合、初心者シナリオでは最適作付面積 24.7ha、1 人当たり年間総労働時間 519.6 時間/人となった。これらは熟練者（実績）シナリオに比較し、それぞれ 57.9ha（70.1%）、552.0 時間/人（51.5%）小さい結果となった。

リスク選好が強気の場合、初心者シナリオでは最適作付面積 42.0ha、1 人当たり年間総労働時間 883.7 時間/人となった。これらは熟練者（実績）シナリオに比較し、それぞれ 86.2ha（67.2%）、731.8 時間/人（45.3%）小さい結果となった。

以上のように、初心者シナリオの最適作付面積が、熟練者（実績）シナリオに比較し小さい結果となった要因は、初心者の作業能率が低く、各種制約条件の影響を強く受けたためと考えられた。第4章で述べた通り、熟練者（実績）・RT 未導入シナリオのボトルネックは作業リスク制約（慎重・強気）や労働力制約（強気のみ）であり、初心者シナリオのボトルネックは慎重・強気ともに作業リスク制約のみであった。初心者シナリオでは、これら制約に係る作業の能率が低下（稲作主要作業の 10a 当たり作業時間が 2.5～3.4 倍に増加）しており、熟練者（実績）シナリオよりも機械作業に係る作業リスク制約の影響を強く受けたため、最適作付面積が小さくなったと考えられた。

また、初心者シナリオでは、熟練者（実績）シナリオに比較し、最適作付面積が約 7 割小さくなったため、それに伴って 1 人当たり年間総労働時間も約 5 割小さい結果が得られたと考えられた。初心者シナリオの 1 人当たり年間総労働時間の減少割合は、最適作付面積に比較し小さいが、これは稲作主要作業の 10a 当たり作業時間が 2.5～3.4 倍に増加したためと考えられた。なお、初心者シナリオでは 1 人当たり年間総労働時間が減少しているが、作業リスク制約による保有農機の作業限界のため、これ以上の規模拡大ができない状態である点は留意が必要である。

このように作業リスク制約や労働力制約が最適営農計画のボトルネックとなる場合、稲作主要作業における技能水準は最適営農計画に直接影響すると考えられた。以上の結果は、第3章の分析結果とも整合的であった。

表 5-2 ロボット技術未導入シナリオにおける最適営農計画（一部抜粋）

作業リスク選好	慎重			強気		
技能水準	初心者	熟練者 (実績)	熟練者 (実績)と 初心者の差	初心者	熟練者 (実績)	熟練者 (実績)と 初心者の差
最適作付面積 [ha]	24.7	82.6	-57.9 (-70.1%)	42.0	128.3	-86.2 (-67.2%)
1人当たり 年間総労働時間 [時間/人・年]	519.6	1071.6	-552.0 (-51.5%)	883.7	1615.5	-731.8 (-45.3%)
参考：売上高 [億円]	0.3	1.1	-0.8 (-70.0%)	0.5	1.7	-1.1 (-67.5%)

資料：FVS-FAPS による分析結果をもとに筆者作成。

注 1：初心者の稲作主要作業の 10a あたり作業時間は熟練者（実績）比 250～335%である。

2. 初心者シナリオにおけるロボット技術の導入効果（分析 B）

RT 導入による最適作付面積および 1 人当たり年間総労働時間の変化を図 5-2 および図 5-3 に示す。RT 導入によって初心者シナリオの最適作付面積は、慎重で未導入 24.7ha から 82.6ha に 57.9ha（234.6%）増加し、強気で未導入 42.0ha から 135.3ha に 93.3ha（221.9%）増加した。また、最適作付面積の大幅な増加に伴って、1 人当たり年間総労働時間は慎重で 265.5 時間/人（51.1%）増加し、強気で 365.3 時間/人（41.3%）増加した。

このように最適作付面積が増加した要因は、初心者シナリオのボトルネックであった作業リスク制約に関する機械作業について、熟練者と同等の作業時間・精度で作業ができる RT が初心者にかわり実施したためと考えられた。具体的には、初心者・RT 導入前シナリオのボトルネックは作業リスク制約であり、それに関する作業を、熟練者と同等の性能（作業時間・精度）を有する RT が代替することで、ボトルネックの解消に貢献し、規模拡大が実現したと考えられた。また、初心者シナリオにおける RT 導入による最適作付面積の増加は、1 人当たり年間総労働時間の増加にも繋がったと考えられた。ただし、最適作付面積の大幅な増加に伴い一人当たり年間総労働時間も増加しているが、その増加割合は最適作付面積に比較すると小さかった。これは RT が、労働代替によって、10a 当たり労働時間の低減に貢献した結果と考えられた。なお、RT 導入によって 1 人当たり年間総労働時間は増加しているが、働き方改革の観点から 1 日・1 人当たり労働可能時間を 8 時間/日・人で残業を想定しない設定の数理計画モデルを用いたため、超過勤務は発生していない。

以上より、初心者シナリオでは、RT の規模拡大効果が大きく発現（最適作付面積 221.9～234.6%増）したが、労働代替効果は発現しない（1 人当たり年間総労働時間 41.3～51.1%増）ことが明らかになった。

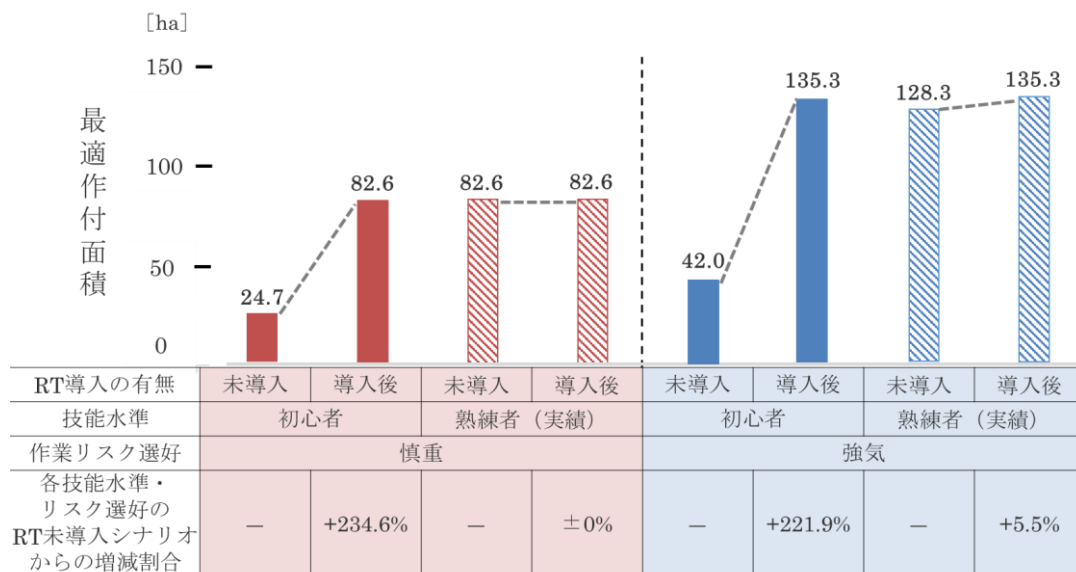


図 5-2 技能水準別のロボット技術の規模拡大効果

資料：FVS-FAPS による分析結果をもとに筆者作成。

注 1：初心者の稲作主要作業の 10a あたり作業時間は熟練者（実績）比 250～335%である。

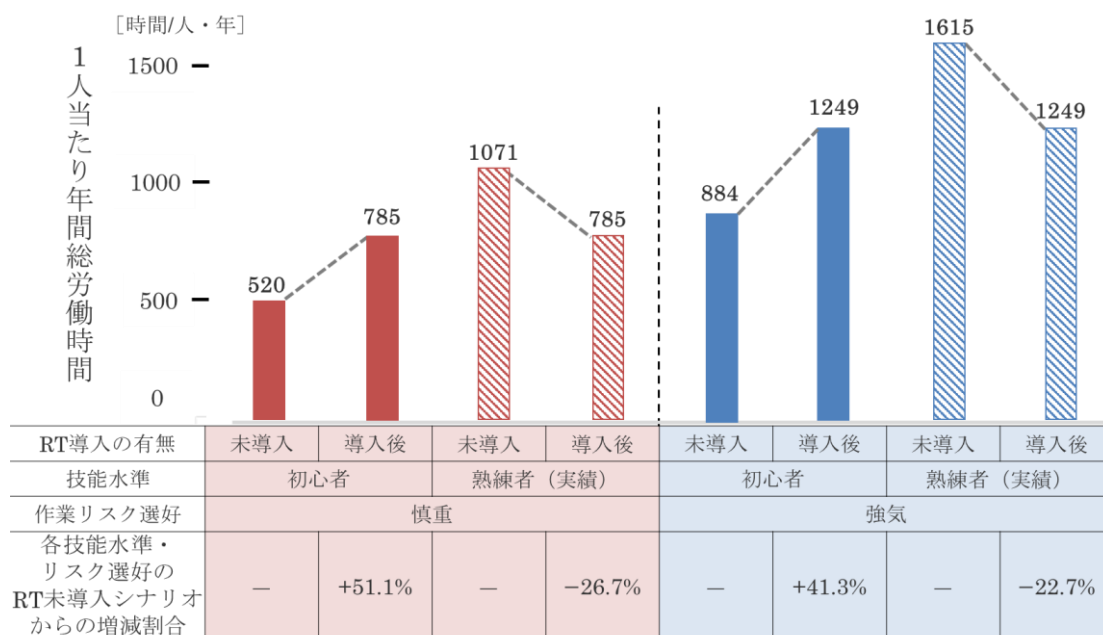


図 5-3 技能水準別のロボット技術の労働代替効果

資料：FVS-FAPS による分析結果をもとに筆者作成。

注 1：初心者の稲作主要作業の 10a あたり作業時間は熟練者（実績）比 250～335%である。

3. 技能水準によるロボット技術導入効果の差異（分析 C）

初心者シナリオの結果に対して、熟練者（実績）シナリオでは、RT の規模拡大効果が限定的（最適作付面積 0.0～5.5%増）で、労働代替効果は大きい（1 人当たり年間総労働時間 22.7～26.7%減）結果が得られている（第 4 章）。このように稲作法人経営の技能水準は、RT 導入効果の発現する種類やその程度に影響を及ぼすことが明らかになった。

以上より、稲作主要作業における RT の性能（作業時間・精度）に対して、技能水準が低い経営の場合は、RT の規模拡大効果が大きく発現することが示唆された。一方、稲作法人経営の技能水準が、RT の性能（作業時間・精度）と同等の場合には、労働代替効果が大きく発現することが示唆された。なお、RT 導入後の最適作付面積等について、初心者シナリオと熟練者（実績）シナリオで同値となっているが、これは両シナリオともに RT が熟練者と同等の作業時間・精度で作業ができると想定したためと考えられた。

他方で、RT の導入効果に対する作業リスク選好の影響を整理したものが表 5・3 である。最適作付面積を見ると、初心者シナリオでは強気よりも慎重の方が増加割合は大きい一方、熟練者（実績）シナリオでは強気でのみ増加した。また、1 人当たり年間総労働時間は、初心者シナリオでは慎重の方が強気よりも増加割合が大きい一方、熟練者（実績）シナリオでは慎重の方が強気よりも低減割合が大きかった。これらの結果より、初心者者の技能水準が熟練者に近づくに伴い、作業リスク選好が RT の導入効果に及ぼす影響も変化することが考えられた。

これは技能水準によって、経営規模拡大制約としての作業リスクの影響度が変化したことが要因として考えられた。具体的には、RT 未導入シナリオにおける最適営農計画は、作業能率が低い初心者シナリオでは作業リスク制約により規定され、作業能率が高い熟練者（実績）シナリオでは相対的に規定されにくい傾向が見られた。当該作業を代替する RT の導入効果は作業リスク制約の影響度に直接的に関係するため、結果として、作業リスクの考慮の仕方（作業リスク選好）の変化が、RT の導入効果の程度を変化させたと考えられた。

表 5-3 作業リスク選好によるロボット技術導入効果の変化

技能水準	初心者			熟練者（実績）		
作業リスク選好	慎重	変化率 絶対値の 大小関係	強気	慎重	変化率 絶対値の 大小関係	強気
最適作付面積	＋ （増加）	>	＋ （増加）	±0 （変化なし）	<	＋ （増加）
1人当たり 年間総労働時間	＋ （増加）	>	＋ （増加）	－ （減少）	>	－ （減少）

資料：FVS-FAPS による分析結果をもとに筆者作成。

第4節 おわりに

本章では、図 1・3における「技能」と「技術」の両軸に着目し、稲作主要作業の技能水準が、稲作法人経営におけるロボット技術の規模拡大効果や労働代替効果に及ぼす影響について、作業リスクや働き方改革の観点を考慮した数理計画モデルを用いて定量的に分析した。分析の結果、初心者経営では、作業リスク選好に関わらず、熟練者水準の性能（作業時間・精度）を有するロボット技術の規模拡大効果が大きい一方、労働代替効果は見られないことが明らかになった。これは熟練者経営におけるロボット技術の導入効果と対照的な結果であった。また、作業リスク選好の影響をみると、ロボット技術の規模拡大効果は、初心者経営では作業リスク選好が慎重の方が大きく、熟練者経営では作業リスク選好が強気の方が大きくなる傾向が明らかになった。したがって、稲作法人経営の技能水準やリスク選好によって、ロボット技術の導入効果に差異が見られることが明らかになった。

以上より、ロボット技術の導入効果を技能水準間で比較すると、ロボット技術の性能（作業時間・精度）に対し技能水準が低い経営では規模拡大効果が相対的に大きく発現し、技能水準が同等の経営では労働代替効果が相対的に大きく発現することが示唆された。また、ロボット技術の導入を検討する場合、経営の技能水準やリスク選好と、検討対象のロボット技術の性能（作業時間・精度）および導入経費を勘案し、ロボット技術の導入効果を事前評価することが望ましいことが示唆された。なお、その際には、機械・設備投資に係る助成金等の農業施策（例えば、茨城県の場合、「儲かる産地支援事業」＜https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/nannourin/kikaku/kikaku/03_guide/documents/r4_hojo_guidebook.pdf＞）の活用も検討することで、資金力の乏しい初心者経営においてもロボット技術の導入活用が可能と考えられる。

ところで、技能の技術化は、「人の持っていた技能が完全に置き換えられるのではなく、そこでは何かが失われている可能性」（松本 2003、p.2）があり、「知的な技能は、情報化、ロボット化がすすめばすすむほどますます必要」（小池ら 2001、p.ii）になることが指摘されている。稲作においても、技能の技術化によって失われる技能と、新たに必要になる技能があると考えられる。また、農業技能は工業技能と異なり技能形成に長期間を要する可能性があり（南石 2015b）、「ロボット技術・自動化技術によって人がもつ技能がどこまで代替できるのか、どのように次世代への伝承できるのか等も、現実の農業経営における人材育成という点では重要な課題」（南石 2022、p.34）との指摘もある。したがって、稲作法人経営においては前述のロボット技術の事前評価に加え、将来のロボット技術

の実用化時期やその性能、そして重要な技能を見極めて、機械投資計画および人材育成計画を合わせて検討することがより重要になると示唆される。

第6章 稲作法人経営における自動化・ロボット技術の 導入活用要因の解明 —全国農業法人アンケートに基づいたプロビット分析—

第1節 はじめに

第4～5章では、稲作法人経営におけるロボット技術の導入効果を明らかにした。このような技術の効果的な導入活用に資する知見を得るためには、その導入活用を規定する要因の解明が求められる。そこで本章では、稲作法人経営における自動化・ロボット技術の現在の導入活用状況を規定する要因を明らかにする。具体的には、九州大学農業経営学研究室が2019年に実施した全国農業法人アンケートのデータにプロビット・モデルを適用した。なお、本章では「導入活用」を「活用」と表記する。

第2節 データおよび方法

1. アンケートの概要

データは、2019年7月に郵送方式により九州大学農業経営学研究室が実施した全国の農業法人経営を対象としたアンケート「農業法人経営における事業展開・イノベーションに関する調査票」（以下、本アンケート）の回答結果を用いる（結果概要は南石2021参照）。本アンケートは、日本農業法人協会等のWEBサイトや文献等に記載されている法人名から2885法人を特定・送付し、同年12月迄に505法人から回答を得ている（回答率17.5%）。そのうち、水稻部門売上高（以下、水稻売上高）が全作目売上高の60%以上を占める経営（以下、稲作法人経営）を分析対象とする。稲作法人経営は $n = 100$ である。ただし、有効回答数は各設問項目で異なる。

本アンケートはA4サイズで8頁、大問20問から構成される。そのうち、本章では、後述する通り、「情報通信技術やスマート農業技術の活用」に関する設問に加え、「経営のビジョン・目標・管理」、「経営属性」、「経営者属性」に関する設問の回答結果を用いる。

2. 対象技術の概要

本章で対象とする技術は、2019年時点で、稲作の栽培段階で主に活用されている自動化・ロボット技術である。具体的には、自動化・ロボット技術を自動化対象作業（農林水

産省 2020d、2022b) や農機の自動化レベル (農林水産省 2016b) 等から大別し、「操作アシスト機能付き農業機械」、「作物栽培機械作業の自動化・ロボット」、「農地灌漑・給水の自動化」の3つの技術を対象にする (表 6-1)。

「操作アシスト機能付き農業機械 (操作アシスト機能等)」 (以下、アシスト農機) は、農機のステアリング操作の自動化に特化した技術である。「作物栽培機械作業の自動化・ロボット (耕起、施肥、防除 (ドローン含む)、収穫等)」 (以下、栽培自動化・ロボット) は、より高度な自動操舵に加え、作物栽培機械作業の自動化も可能な技術である。「農地灌漑・給水の自動化 (水田パイプライン・オープン水路、畑地等)」 (以下、水管理自動化技術) は、稲作において「水見半作」と言われるほど重要な水管理の自動化に特化した技術である。

表 6-1 本章で対象とする自動化・ロボット技術

対象技術	本アンケート調査票 における表記		想定される具体的な技術例	対象作業
アシスト 農機	操作アシスト機能付き 農業機械 (直進アシス ト機能等)	✓	直進アシスト装置 (GPSガイダンス+自動操舵補助システム) ・価格帯 (目安) : 40~250万円/台	耕起・耕 耘、移植、 収穫等の 慣行農機 作業
		✓	直進アシスト機能付き田植機 ・価格帯 (目安) : 300~550万円/台	
栽培 自動化・ ロボット	作物栽培機械作業の自 動化・ロボット (耕起、 施肥、防除 (ドローン 含む)、収穫等)	✓	ロボット農機 (ロボットトラクタ等) ・価格帯 (目安) : 1,000~1,500万円/台	作物栽培 機械作業 (水管理 を除く)
		✓	農業散布ドローン ・価格帯 (目安) : 80~300万円/台	
水管理 自動化 技術	農地灌漑・給水の自動 化 (水田パイプライン ・オープン水路、畑地 等)	✓	自動給水機 (水位センサー式、タイマー式) ・価格帯 (目安) : 6~16万円/台	水管理
		✓	自動排水機 ・価格帯 (目安) : 12万円/台	

資料：本アンケート調査票や農業情報学会 (2019)、農林水産省 (2020d、2022b)、メーカー等公開情報より筆者作成。

3. 分析手法

本章では、自動化・ロボット技術の活用について、どのような要因が、どの程度、影響しているかを明らかにする。その有効な手法と考えられたプロビット・モデルを用いた分析を行う。プロビット・モデルを自動化・ロボット技術の活用要因の分析に適用した実証モデルは次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} RT_i^* &= \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ji} + u_i \\ u_i | X_{1i}, \dots, X_{ki} &\sim N(0, 1) \\ RT_i &= \begin{cases} 0 & (RT_i^* \leq 0) \\ 1 & (RT_i^* > 0) \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

RT_i は被説明変数の自動化・ロボット技術活用ダミーで、自動化・ロボット技術活用ダミーの取る値を決める潜在変数が RT_i^* である。自動化・ロボット技術活用ダミー RT_i は、自動化・ロボット技術を現在活用していれば 1、現在活用していなければ 0 をとるダミー変数である。

この被説明変数に「情報通信技術やスマート農業技術の活用」に関する設問の回答結果を用い、自動化・ロボット技術の種類別に自動化・ロボット技術活用ダミーを設定する。具体的には、アシスト農機の現在の活用状況の設問について、「現在活用している」と回答した経営はアシスト農機活用ダミーを 1、「現在活用していない」と回答した経営を 0 とする。同様に、栽培自動化・ロボット活用ダミーは栽培自動化・ロボットの現在の活用状況に関する回答結果、水管理自動化技術活用ダミーは水管理自動化技術の現在の活用状況に関する回答結果を用いて設定する。なお、説明変数と仮説は後述する。

また、本章では変数増減法による変数選択を行う。これは、変数増減法を適用する上での留意点はあるものの、本章では適用するメリットの方が大きいと考えられたこと、統計的に変数選択した仮説検証型の既存研究（例えば、衣笠ら 2021）もあることから、総合的に判断し、採用している。具体的な変数増減法のメリットや留意点について以下に示す。

変数増減法のメリットは、説明変数の数に対するサンプルサイズの比率を上げること、多重共線性が発生する可能性が低下すること、等があげられる (Sen and Srivastava 1990)。説明変数の数に対するサンプルサイズの比率を上げことは解析結果の安定性に関係し、被説明変数のいずれか少ないカテゴリのサンプルサイズが、説明変数比で 5～10 以上であ

ることが望まれる（Vittinghoff and McCulloch 2007、Agresti 2013）。また、多重共線性が発生すると推定値の分散と標準誤差が大きくなるが（Studenmund 2018）、変数増減法はこれを回避することにも繋がる。加えて、変数増減法による変数投入・除外の順序が重要な要因を考察する際の一助になること、本章の場合、自動化・ロボット技術の種類毎に主要な活用要因の可能性が高い説明変数を選択できることもメリットと考えられる。

一方、変数増減法の留意点として、変数増減法で得られた結果について考察や理解ができない場合は補助的な結果として扱うことが推奨されている（Sen and Srivastava 1990）。加えて、変数除外によって内生性の問題が発生する可能性も考えられる（西山ら 2019、Studenmund 2017）。しかし、後述するように、分析結果をみるとこれらの留意点に関する問題はほとんど発生していないと考えられた。

なお、多重共線性について、多重共線関係にない他の変数の係数推定値にほとんど影響を及ぼさないこと等も指摘されている（Studenmund 2018）。このことから、多重共線性に対して何もせずに強制投入法を適用し、変数除外による内生性の問題を避けることが推奨される場合もある（Studenmund 2018）。ただし、強制投入法では説明変数の数に対するサンプルサイズの比率が小さくなり、解析結果が不安定になる危険性もある点は留意が必要である。

4. 分析枠組

分析枠組と、想定される自動化・ロボット技術の活用要因を図 6-1 に示す。本章では、「経営のビジョン・目標・管理」、「経営属性」、「経営者属性」といった活用要因が複合的に影響し、技術に対する活用動機の形成を通して、技術活用という「行動選択」を行う、という分析枠組を設定する。これは浅井・山口（1998、p.3、第 2 図）や衣笠ら（2021）の分析枠組構築の考え方や、南石（2011、p.39、図 1-2）の農業経営における経営管理の整理を参考にしている。

技術の活用動機を規定する要因の解明を目的とした浅井・山口（1998）は、活用要因が複合的に影響して、技術の導入効果の特定側面に誘因を見出し、動機が形成された後、動機の内容および動機付けの強さに規定されて行動選択を行う、という分析枠組を構築している。一方、IT の活用を規定する要因の解明を目的とした衣笠ら（2021）は、具体的な活用動機を分析対象とせず、IT の活用状況や今後の活用意思を規定する要因を解明する分析枠組を構築している。本章も、衣笠ら（2021）と同様に、技術の活用状況を規定する要因

の解明を目的としており、活用動機は分析対象としていない。そこで本章では、浅井・山口（1998）の分析枠組の考え方を参考にしつつ、衣笠ら（2021）に依拠して、技術の活用状況を規定する要因解明を目的とする分析枠組を構築している。

また、農業法人経営を対象とする本章では、活用要因の区分として「経営のビジョン・目標・管理」を分析枠組に組込んでいる。これは農業経営が「企業経営として営まれるようになる」と、経営管理全般が重要になってくる」（南石 2011、p.26）ことから設定している。具体的には、経営のビジョンや目標があり、それらの達成を遂行する最も効果的な方策を吟味し、実行することが経営管理である（南石 2011）。経営管理のうち、戦略的マネジメントは「経営が目指すべき夢を描きビジョンを構想すること」であり、戦術的マネジメントは「ビジョンに近づくための戦略を実現する具体的な計画を策定し、その実施を行うこと」、作業実施・統制は「計画に従って実際の作業を行うこと」である（南石 2011、p.26）。また、戦略的マネジメントや戦術的マネジメントを効果的に実施する前提・基礎として、リスク・情報・技術マネジメントがある（南石 2011）。

経営のビジョン・目標・管理		
【経営ビジョン・目標】		
経営理念 ● 経営理念の文書化	経営目的 ● 重視する経営目的 (経営規模の拡大、等)	経営目標 ● 5年後の売上高目標 ● 5年後の利益率目標
【戦略的マネジメント】		
経営戦略 ● 経営戦略の文書化 ● 事業多角化戦略 (取組み事業数、 各種事業の取組み有無)	中長期計画 ● 中長期計画の文書化 人材育成方針 ● 経営成長のための 人材育成の心掛け	資本投資 □ 農業機械の更新意向
【戦術的マネジメント】		
単年度計画 ● 単年度計画の文書化	人材育成計画 □ 作業マニュアル作成、等	
【リスク・情報・技術マネジメント】		
リスクマネジメント ● 経営管理のリスク方針 (慎重、等)	情報・技術マネジメント ● ICT活用力・情報マネジメントの強み・ 弱み	
経営属性		
人的資源 ● 役員数 ● 正規従業員数 □ 年間農業従事日数 □ 従事者の平均年齢 □ 社内人材 (ICT関係、 等)	収益性 ● 経常利益率 □ 農業所得 営業年数 ● 営業開始後の経過年数 ● 法人設立後の経過年数 法人設立経緯 ● 農家一戸で設立 ● 複数農家が共同で設立 ● 非農家個人で設立 ● 農家と非農家、他産業 企業の共同で設立、等 ● 非農家や他産業企業が 設立に参画	法人種別 ● 有限会社 ● 株式会社 ● 農事組合 ● その他 地域 ● 本社所在地 (都道府県) その他 □ 社外人材 (IT関係)
物的資源 □ 情報機器所有 (PC、 等)		
売上高規模 ● 売上高 (経営全体総 額) ● 部門別売上高 (水稲売上高、等)		
経営者属性		
年齢 ● 年齢・選択式回答 (30歳代、40歳代、 等) □ 年齢・自由回答	職業経験 ● 農外職業経験の有無 ● 農外職業経験年数 (1~5年、5~10年、等)	
学歴 ● 各種学校の卒業有無 (専修学校、大学、等)	意欲・好奇心 □ 農業のやりがい	

現在の活用状況

アシスト農機

栽培自動化・ロボット

水管理自動化技術

図 6-1 分析枠組と想定される自動化・ロボット技術の活用要因

資料：分析枠組は浅井・山口（1998、p.3、第2図）や衣笠ら（2021）の分析枠組構築の考え方や、南石（2011、p.39、図1-2）の農業経営における経営管理の整理を参考に筆者作成。また、想定される自動化・ロボット技術の活用要因は本アンケート調査票や竹内・南石（2013）、衣笠ら（2021）、国際大学 GLOCOM（2019）、Mi et al.（2021）、南石（2022）をもとに筆者作成。

注1：浅井・山口（1998）は水稲病害抵抗性品種を対象とした活用要因に関する分析枠組を、衣笠ら（2021）はITを対象とした活用要因に関する分析枠組を構築している。また、南石（2011）は農業経営の経営管理を整理している。そのため、これらを参考にした本章の分析枠組は自動化・ロボット技術に限定したものではない点は留意していただきたい。

注2：活用要因はスマート農業技術の活用要因に関する既存研究で、有意な結果が得られたものを参考にしている。そのうち、一部の活用要因は各区分に明確に分類できないものもある。例えば、経営目標は戦略的マネジメントにも関連すると思われる。

注3：活用要因の小区分について、行頭記号は、本アンケートで調査した項目を「●」、調査していない項目を「□」で示す。また、本章で着目する活用要因は「太字」、既存研究で有意な結果が得られている活用要因は「下線」で示す。

5. 活用要因と仮説

本章で着目する活用要因やその仮説に関しては、自動化・ロボット技術の活用要因に関する既存研究がほとんど見られないため、ICT やスマート農業技術全般の活用要因に関する既存研究（竹内・南石 2013、衣笠ら 2021、国際大学 GLOCOM 2019、Mi et al. 2021、南石 2022）を参考に設定している。本章で着目する活用要因は、図 6-1 に示すように、本アンケート調査項目で分析可能、かつクロス集計で各自動化・ロボット技術の現在の活用状況と関係が見られたものを選定した。その結果、本章で着目する活用要因は以下の 7 点である。

「経営のビジョン・目標・管理」に関係する活用要因として、Mi et al. (2021) や南石 (2022) から経営目標と情報・技術マネジメントに着目する。また、「経営属性」に関係する活用要因として、国際大学 GLOCOM (2019) から売上高規模、衣笠ら (2021) から収益性、竹内・南石 (2013) から営農開始後の経過年数と法人設立経緯に着目する。そして、「経営者属性」に関係する活用要因として、Mi et al. (2021) や南石 (2022)、衣笠ら (2021) から経営者の年齢に着目する。本章では、これら ICT やスマート農業技術全般の活用要因が、自動化・ロボット技術の活用においても同様に影響を及ぼす可能性が高いと仮定し、分析を行う。なお、「経営のビジョン・目標・管理」について、以下では経営の目標・管理に関する活用要因に着目することから「経営の目標・管理」と表記する。

各活用要因の仮説は、それぞれ参考にした既存研究の分析結果より設定する。具体的には、「経営の目標・管理」について、情報・技術マネジメントを強みと捉えている（弱みと捉えていない）経営では、自動化・ロボット技術を活用していると仮説を立てる。経営目標は、目標設定値が自動化・ロボット技術の活用に正負いずれの影響を及ぼすかが、本章で参考にした既存研究から定かではなかった。ただし、最新の研究（Mi et al. 2022）によると、0%（収支均衡）の経営に比較し、利益率目標が 15～20%の経営では自動化・ロボット技術を活用しているとの仮説も考えられる。次に、「経営属性」について、売上高規模が大きく、収益性が高く、営農開始後の経過年数が長く、法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画している経営は、自動化・ロボット技術を活用していると仮説を立てる。最後に、「経営者属性」について、経営者の年齢が若い経営では、自動化・ロボット技術を活用していると仮説を立てる。

具体的な説明変数の設定内容は表 6-2 に示す。「経営の目標・管理」について、経営目標は 5 年後の売上高経常利益率目標値別のダミー変数、情報・技術マネジメントは ICT

活用力・情報マネジメントに関する自社の強み・弱みの5段階自己評価を用いる。「経営属性」について、売上高規模は水稻売上高の対数、収益性は直近決算の売上高経常利益率別のダミー変数、営農年数は営農開始後の経過年数の対数、法人設立経緯は法人設立に非農家出身者あるいは他産業企業が参画しているか否かのダミー変数を用いる。「経営者属性」について、経営者の年齢が60歳以上か否かのダミー変数を用いる。

表 6-2 プロビット・モデルの説明変数一覧

大区分	中区分	小区分：説明変数の内容 ^(注1)	尺度	単位	符号 仮説 ^(注2)	主要な文献
経営の目標・管理	経営目標	利益率目標ダミー： 5年後の売上高経常利益率目標値別のダミー変数 ✓ 利益率目標ダミー1（基準）： 0%（収支均衡）=1、それ以外=0 ✓ 利益率目標ダミー2： 1～5%未満=1、それ以外=0 ✓ 利益率目標ダミー3： 5～10%未満=1、それ以外=0 ✓ 利益率目標ダミー4： 10%以上=1、それ以外=0	名義	0 or 1	？ ^(注5)	Mi et al. (2021)、 南石 (2022)
	情報・技術 マネジメント	ICT活用力・情報マネジメントの強み・弱み： ICT活用力・情報マネジメントについて、 競合他社に比較した自社の強み・弱みの 自己評価 (5段階；劣っている=1～優れている=5)	間隔 (リッ カート 尺度)	1 ～ 5	+	Mi et al. (2021)、 南石 (2022)
	売上高 規模	水稲売上高（対数）： 水稲部門における直近決算の売上高の対数値	比例	-	+	国際大学 GLOCOM (2019) 等
経営属性	収益性	経常利益率ダミー： 直近決算の売上高経常利益率別のダミー変数 ✓ 経常利益率ダミー1（基準）： 0%（収支均衡）=1、それ以外=0 ✓ 経常利益率ダミー2： 1～5%未満=1、それ以外=0 ✓ 経常利益率ダミー3： 5～15%未満=1、それ以外=0 ✓ 経常利益率ダミー4： 15%以上=1、それ以外=0 ✓ 経常利益率ダミー5：赤字=1、それ以外=0	名義	0 or 1	+/-	衣笠ら (2021)
	営農 年数	営農開始後の経過年数（対数）： 「2019年－農業開始年」の対数値	比例	-	+	竹内・南石 (2013)
	経緯 立人設	法非農家等設立参画ダミー ^(注3) ： 法人設立に非農家出身者あるいは 他産業企業が参画=1、それ以外=0	名義	0 or 1	+	竹内・南石 (2013) 等
	経営者 属性 年齢	60歳以上ダミー ^(注4) ： 経営者の年齢が60歳以上=1、60歳未満=0	名義	0 or 1	-	Mi et al. (2021)、 南石 (2022) 等

資料：筆者作成。

注1：「（基準）」の付記があるダミー変数は、複数カテゴリのダミー変数で基準とするカテゴリである。

また、回答がなかったカテゴリのダミー変数は設定していない。

注2：プロビット分析で推定する各説明変数の係数について、既存研究から予想される符号を示す。符号仮説が「+」は自動化・ロボット技術を「現在活用している」方向に、符号仮説が「-」は自動化・ロボット技術を「現在活用していない」方向に影響する。「？」の説明変数は自動化・ロボット技術の活用に正負いずれの影響を及ぼすかが、既存研究からは不明なことを示す。

注3：中国地域創造研究センター（2019）より、農業法人経営におけるスマート農業技術の活用上の課題は対応可能な人材の不足であることを踏まえて設定している。「法人設立に非農家出身者あるいは他産業企業が参画」は、「非農家出身者が、個人として農業に参入し法人を設立」、「農家が、非農家出身者や他産業企業と共同して法人を設立」、「別事業が主力であるが、新規事業として農業参入」、「親会社・グループ会社が新法人を設立し農業参入」と回答した経営である。一方、「それ以外」は、「農家が、一戸で法人を設立」、「農家が、複数戸共同して法人を設立」、「その他」と回答した経営である。

注4：日本農業法人協会（2021）より、農業法人経営者の平均年齢が約60歳であることから設定している。

注5：最新の研究（Mi et al. 2022）によると、0%（収支均衡）の経営に比較し、利益率目標が15～20%の経営では自動化・ロボット技術を活用しているとの仮説も考えられる。

6. 分析手順

第一に、自動化・ロボット技術の現在の活用状況と、着目する活用要因について、単純集計やクロス集計、相関関係を示し、全体的な傾向を把握する。クロス集計では、プロビット分析に先立ち、自動化・ロボット技術の活用に関する仮説との整合性を確認する。また、相関係数や VIF（分散膨張要因、Variance Inflation Factor）を推定し、多重共線性の可能性を検討する。

第二に、自動化・ロボット技術の種類別に、変数増減法を適用したプロビット分析を行い、活用要因とその限界効果を明らかにする。プロビット分析には、変数増減法を適用する。最後に、各自動化・ロボット技術に共通の活用要因と、各自動化・ロボット技術に固有の活用要因を整理し、各自動化・ロボット技術の特性を踏まえた考察を行う。

分析ソフトウェアは Stata (ver.17) であり、VIF の推定は `collin` コマンド (<https://stats.oarc.ucla.edu/stat/stata/ado/analysis>) を用いる。また、プロビット分析には `probit` コマンド、限界効果の推定には `margins` コマンドを用いる。そして、変数増減法には `stepwise` コマンドを用い、変数入出力基準として、有意確率で投入 $p=0.15$ 、除去 $p=0.16$ を設定する。この変数入出力基準は重回帰分析における $F_{in} = 2.00$ 、 $F_{out} = 1.99$ の有意水準に相当する（瀧口 2005）。

第3節 結果および考察

1. 単純集計結果

稲作法人経営における各自動化・ロボット技術の現在の活用状況に関する回答結果を表 6-3 に示す。アシスト農機 ($n = 85$) および栽培自動化・ロボット ($n = 85$) を現在活用している経営は 20 法人 (活用率 24%) で、水管理自動化技術 ($n = 84$) を現在活用している経営は 13 法人 (活用率 15%) であった。

表 6-3 自動化・ロボット技術の現在の活用状況

アシスト農機 ($n=85$)	活用	20法人
	未活用	65法人
	活用率	24%
栽培自動化 ・ロボット ($n=85$)	活用	20法人
	未活用	65法人
	活用率	24%
水管理 自動化技術 ($n=84$)	活用	13法人
	未活用	71法人
	活用率	15%

資料：九州大学農業経営学研究室が実施した全国農業法人アンケートの回答結果に基づいた南石（2021、表 7.5.1）を筆者が加筆作成。

注 1：「活用」は「現在活用している」と回答した経営、「未活用」は「現在活用していない」と回答した経営の数を示す。また、活用率＝活用 ÷ (活用 + 未活用) × 100。以下、同様。

各変数の基本統計量は表 6-4 の通りである。なおプロビット分析には、欠損値（未回答）および利益率目標で「目標なし」と回答した経営 ($n = 1$) を除いたデータを用いたため、後述のプロビット分析の n とは異なる。

表 6-4 各変数の基本統計量

大区分	中区分 (注1)	小区分	尺度	単位	平均 (注2)	標準偏差	最小値	最大値		
被説明変数	活用状況 現在の	アシスト農機 (n=85)	アシスト農機活用ダミー	名義	0 or 1	0.24	0.43	0	1	
		栽培自動化・ロボット (n=85)	栽培自動化・ロボット活用ダミー	名義	0 or 1	0.24	0.43	0	1	
		水管理自動化技術 (n=84)	水管理自動化技術活用ダミー	名義	0 or 1	0.15	0.36	0	1	
経営の目標・管理	経営目標 (n=97)	利益率目標ダミー1 0% (収支均衡)	名義	0 or 1	0.06	0.24	0	1		
		利益率目標ダミー2 1～5%未満			0.31	0.46	0	1		
		利益率目標ダミー3 5～10%未満			0.30	0.46	0	1		
		利益率目標ダミー4 10%以上 (a～c)			0.32	0.47	0	1		
		a. 10～15%未満			0.18	0.38	0	1		
		(参考) 内訳ほか			b. 15～20%未満	0.05	0.22	0	1	
		c. 20%以上			0.09	0.29	0	1		
		d. 目標なし			0.01	0.10	0	1		
	情報・技術マネジメント (n=92)	ICT活用力・情報マネジメントの強み・弱み	間隔	1～5	2.51	1.03	1	5		
	説明変数	経営属性	売上高規模 (n=100)	水稻売上高 (注3)	比例	万円	5738.76	4938.00	270	28000
			収益性 (n=97)	経常利益率ダミー1 0% (収支均衡)	名義	0 or 1	0.10	0.31	0	1
				経常利益率ダミー2 1～5%未満			0.32	0.47	0	1
経常利益率ダミー3 5～15%未満 (a, b)				0.24			0.43	0	1	
経常利益率ダミー4 15%以上 (c, d)				0.18			0.38	0	1	
経常利益率ダミー5 赤字				0.16			0.37	0	1	
a. 5～10%未満				0.11			0.32	0	1	
(参考) 内訳				b. 10～15%未満			0.12	0.33	0	1
c. 15～20%未満				0.12			0.33	0	1	
d. 20%以上			0.05	0.22	0	1				
営農年数 (n=84)			営農開始後の経過年数 (注3)	比例	年	24.08	17.62	3	119	
法人設立経緯 (n=98)			非農家等設立参画ダミー	非農家や他産業企業が設立参画 (c～f)	名義	0 or 1	0.09	0.29	0	1
			a. 農家一戸で設立	0.28			0.45	0	1	
			b. 複数農家が共同で設立	0.60			0.49	0	1	
			c. 農家と非農家、他産業企業が共同で設立	0.05			0.22	0	1	
			(参考) 内訳	d. 非農家個人で設立			0.00	0.00	0	0
	e. 他産業企業の新事業	0.03	0.17	0			1			
	f. 他産業企業が新法人を設立	0.01	0.10	0			1			
	g. その他	0.03	0.17	0			1			
	60歳以上ダミー	60歳以上 (f, g)	名義	0 or 1			0.62	0.49	0	1
		a. 10歳代					0.00	0.00	0	0
b. 20歳代		0.00			0.00	0	0			
c. 30歳代		0.04			0.20	0	1			
(参考) 内訳		d. 40歳代			0.14	0.35	0	1		
e. 50歳代		0.20			0.40	0	1			
f. 60歳代		0.37			0.49	0	1			
年齢 (n=97)	g. 70歳以上	0.25	0.43	0	1					

資料：九州大学農業経営学研究室が実施した全国農業法人アンケートの回答結果（南石 2021）の回答結果より筆者作成。

注1：nは各活用要因・中区分に関する調査項目の有効回答数（回答経営の数）を示す。

注2：ダミー変数では、nに対する各カテゴリの占める割合を示す。

注3：対数変換前の統計量を示す。

2. クロス集計結果

自動化・ロボット技術の現在の活用状況について、各活用要因とクロス集計した結果が表 6-5 である。以下では、クロス集計結果について、各自動化・ロボット技術の活用率に着目して分析した。具体的には、 n が 5 以上のカテゴリの活用率について、ダミー変数は基準カテゴリの活用率と、ダミー変数以外の説明変数は各自動化・ロボット技術の単純集計の活用率と比較した。その活用率の乖離が 10 ポイント（ポイントは%の差。以下、同様）以上であったカテゴリに主に着目し、自動化・ロボット技術の活用傾向を整理した。

アシスト農機について、利益率目標は「0%（収支均衡）」に比較し、「1～5%未満」で活用率が低く、「10%以上」で若干低かった。ICT 活用力・情報マネジメントの強み・弱みは、「劣っている」で活用率が最も低く、自己評価が高くなるにつれて活用率が上昇し、「どちらともいえない」で活用率が最も高く、「やや優れている」で若干高かった。水稻売上高は「3,000 万円未満」で活用率が最も低く、売上高増加に伴い活用率が上昇し、「1 億～3 億円未満」で活用率が最も高かった。経常利益率は「0%（収支均衡）」に比較し、「赤字」で活用率が低く、「15%以上」で活用率が高かった。営農開始後の経過年数は、「1～10 年」で活用しておらず、経過年数が長くなるにつれて活用率が上昇し、「31 年以上」で活用率が最も高かった。法人設立経緯の非農家等設立参画ダミーは、「非農家や他産業企業が設立参画」で、「それ以外」に比較し、活用率が高かった。

栽培自動化・ロボットについて、利益率目標は、「0%（収支均衡）」が $n = 4$ と小さい点に留意が必要だが、それに比較し、「1～5%未満」「5～10%未満」「10%以上」で活用率が低い傾向が見られた。ICT 活用力・情報マネジメントの強み・弱みは、「劣っている」「やや劣っている」で活用率が低く、自己評価が高くなるにつれて活用率が上昇し、「やや優れている」で最も高かった。水稻部門の売上高は「3,000 万円未満」で活用率が最も低く、売上高増加に伴い活用率が上昇し、「1 億～3 億円未満」で活用率が最も高かった。経常利益率は「0%（収支均衡）」に比較し、「赤字」で活用率が低く、「1～5%未満」「5～15%未満」で若干低い一方、「15%以上」で若干高かった。営農開始後の経過年数は「31 年以上」で活用率が高かった。法人設立経緯の非農家等設立参画ダミーは、「非農家や他産業企業が設立参画」で、「それ以外」に比較し、活用率が高かった。経営者の年齢は、「60 歳未満」に比較し、「60 歳以上」で活用率が高かった。

水管理自動化技術について、利益率目標は「0%（収支均衡）」が $n = 4$ と小さい点に留意が必要だが、それに比較し、「5～10%未満」「10%以上」で活用率が高かった。ICT 活

用力・情報マネジメントの強み・弱みは、「やや劣っている」で活用率が若干低く、「どちらともいえない」で高かった。水稻売上高は「3,000 万～5,000 万円未満」で活用されておらず、「1 億～3 億円未満」で活用率が若干高かった。経常利益率は「0%（収支均衡）」に比較し、「5～15%未満」「15%以上」で活用率が高かった。営農開始後の経過年数は、「21～30 年」で活用されておらず、「31 年以上」で活用率が高かった。法人設立経緯の非農家等設立参画ダミーは、「非農家や他産業企業が設立参画」で、「それ以外」に比較し、活用率が高かった。

表 6-5 自動化・ロボット技術の現在の活用状況と活用要因の関係

大区 分	中 区 分	小 区 分 ^(注1)	単純集計→	アシスト農機				栽培自動化・ロボット				水管理自動化技術			
				活用	未活用	n ^(注2)	活用率 ^(注3)	活用	未活用	n ^(注2)	活用率 ^(注3)	活用	未活用	n ^(注2)	活用率 ^(注3)
				20	65	85	24%	20	65	85	24%	13	71	84	15%
経営 の 目 標 ・ 管 理	経営 目 標	利益率目標 ダミー1	0%（収支均 衡） ※基準	2	4	6	33%	2	2	4	50%	0	4	4	0%
		利益率目標 ダミー2	1～5%未満	3	20	23	13%	3	20	23	13%	1	21	22	5%
		利益率目標 ダミー3	5～10%未満	8	18	26	31%	5	20	25	20%	6	20	26	23%
		利益率目標 ダミー4	10%以上	7	20	27	26%	9	21	30	30%	5	24	29	17%
	マ ネ ジ メ ン ト	ICT	劣っている	1	14	15	7%	0	15	15	0%	2	13	15	13%
		活用力・ 情報マネジ メントの 強み・弱み	やや劣っている	4	23	27	15%	3	23	26	12%	2	24	26	8%
			どちらともい えない	8	15	23	35%	7	16	23	30%	6	16	22	27%
			やや優れている	5	10	15	33%	8	8	16	50%	3	13	16	19%
			優れている	1	0	1	100%	0	0	0	—	0	1	1	0%
	売 上 高 規 模	水稲売上高	3,000万円未満	1	23	24	4%	2	23	25	8%	4	20	24	17%
			3,000万～ 5,000万円未 満	4	14	18	22%	3	16	19	16%	0	18	18	0%
			5,000万～ 1億円未満	10	21	31	32%	10	20	30	33%	6	24	30	20%
			1億～3億円未満	5	7	12	42%	5	6	11	45%	3	9	12	25%
経営 属 性	収 益 性	経常利益率 ダミー1	0%（収支均 衡） ※基準	2	8	10	20%	3	7	10	30%	1	9	10	10%
		経常利益率 ダミー2	1～5%未満	5	20	25	20%	5	19	24	21%	2	23	25	8%
		経常利益率 ダミー3	5～15%未満	5	16	21	24%	5	17	22	23%	5	15	20	25%
		経常利益率 ダミー4	15%以上	6	9	15	40%	6	10	16	38%	4	12	16	25%
		経常利益率 ダミー5	赤字	1	11	12	8%	1	11	12	8%	1	11	12	8%
	営 農 年 数	営農開始後 の経過年数	1～10年	0	10	10	0%	3	8	11	27%	2	10	12	17%
			11～20年	5	24	29	17%	6	24	30	20%	5	23	28	18%
			21～30年	5	11	16	31%	4	11	15	27%	0	14	14	0%
			31年以上	7	11	18	39%	6	11	17	35%	5	13	18	28%
	立 法 経 人 緯 設	非農家等 設立参画 ダミー	非農家や他 業企業 それ以外 ※基準	5	4	9	56%	5	4	9	56%	3	6	9	33%
				15	59	74	20%	15	59	74	20%	10	63	73	14%
経 営 者 属 性	年 齢	60歳以上 ダミー	60歳未満 ※基準	7	25	32	22%	4	26	30	13%	4	26	30	13%
			60歳以上	13	37	50	26%	16	36	52	31%	8	43	51	16%

資料：九州大学農業経営学研究室が実施した全国農業法人アンケートの回答結果（南石 2021）の回答結果より筆者作成。

注 1：ダミー変数の基準カテゴリを「※基準」で示す。

注 2：nは活用要因・小区分の各カテゴリに該当する経営のうち、各自動化・ロボット技術を「現在活用している」「現在活用していない」と回答した経営の数の合計を示す。

注 3：n ≥ 5のカテゴリの活用率について、ダミー変数は基準カテゴリの活用率と、それ以外の変数は単純集計の活用率と比較し、5 ポイント以上の乖離がある活用率を太字で、10 ポイント以上の乖離がある活用率を太斜字で示す。

以上のクロス集計結果と、前述の仮説との整合性について、プロビット分析に先立ち確認した（表 6-6）。

アシスト農機について、仮説と整合的な傾向として、ICT 活用力・情報マネジメントを弱みと捉えておらず、水稻売上高規模が大きく、収益性が高く、営農開始後の経過年数が長く、法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画している経営では、アシスト農機を活用している傾向が見られた。

栽培自動化・ロボットについて、仮説と整合的な傾向として、ICT 活用力・情報マネジメントを強みと捉えており、水稻売上高規模が大きく、営農開始後の経過年数が 31 年以上と長く、法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画している経営では、栽培自動化・ロボットを活用している傾向が見られた。一方、仮説と逆の傾向として、経営者の年齢が高いほど、栽培自動化・ロボットを活用している傾向が見られた。これは高齢な経営者ほど現場作業の省力化を志向し、その課題解決のため自動化・ロボット技術を活用している可能性が考えられた。

水管理自動化技術について、仮説と整合的な傾向として、収益性が高く、法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画している経営では、水管理自動化技術を活用している傾向が見られた。

表 6-6 クロス集計結果の要約

大区分	中区分	小区分	活用経営の仮説	対象技術	仮説整合性 (注1)	自動化・ロボット技術別のクロス集計結果		
経営の目標・管理	経営目標	利益率目標ダミー	目標設定値は正負の影響不明 ※基準：0%（収支均衡）	アシスト農機	—	「0%（収支均衡）」に比較し、「1～5%未満」で活用率が低く、「10%以上」で若干低い		
				栽培自動化・ロボット	—	「0%（収支均衡）」に比較し、「1～5%未満」「5～10%未満」「10%以上」で活用率が低い傾向 ※「0%（収支均衡）」がn=4と小さい点に留意が必要		
				水管理自動化技術	—	「0%（収支均衡）」に比較し、「5～10%未満」「10%以上」で活用率が高い傾向 ※「0%（収支均衡）」がn=4と小さい点に留意が必要		
		情報・技術マネジメントの強み・弱み	情報・技術マネジメントを強みと捉えている（弱みと捉えていない）	アシスト農機	○	「劣っている」で活用率が最も低く、自己評価が高くなるに伴い活用率が上昇し、「どちらともいえない」で活用率が最も高く、「やや優れている」で若干高い		
				栽培自動化・ロボット	○	「劣っている」「やや劣っている」で活用率が低く、自己評価が高くなるに伴い活用率が上昇し、「やや優れている」で最も高い		
				水管理自動化技術	—	「やや劣っている」で活用率が若干低く、「どちらともいえない」で高い		
	売上高規模	水稲売上高	売上高規模が大きい	アシスト農機	○	「3,000万円未満」で活用率が最も低く、売上高増加に伴い活用率が上昇し、「1億～3億円未満」で活用率が最も高い		
				栽培自動化・ロボット	○	「3,000万円未満」で活用率が最も低く、売上高増加に伴い活用率が上昇し、「1億～3億円未満」で活用率が最も高い		
				水管理自動化技術	—	「3,000万～5,000万円未満」で未活用、「1億～3億円未満」で活用率が若干高い		
		経営属性	収益性	経常利益率ダミー	収益性が高い ※基準：0%（収支均衡）	アシスト農機	○	「0%（収支均衡）」に比較し、「赤字」で活用率が低く、「15%以上」で活用率が高い
					栽培自動化・ロボット	—	「0%（収支均衡）」に比較し、「赤字」で活用率が低く、「1～5%未満」「5～15%未満」で若干低いが、「15%以上」で若干高い	
					水管理自動化技術	○	「0%（収支均衡）」に比較し、「5～15%未満」「15%以上」で活用率が高い	
	営農年数		営農開始後の経過年数	アシスト農機	○	「1～10年」で未活用、経過年数が長くなるに伴い活用率が上昇し、「31年以上」では活用率が最も高い		
				栽培自動化・ロボット	○	「31年以上」で活用率が高い		
				水管理自動化技術	—	「21～30年」で未活用、「31年以上」で活用率が高い		
	法人設立経緯	非農家等設立参画ダミー	法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画している	アシスト農機	○	「非農家や他産業企業が設立参画」で、「それ以外」に比較し、活用率が高い		
			栽培自動化・ロボット	○	「非農家や他産業企業が設立参画」で、「それ以外」に比較し、活用率が高い			
			水管理自動化技術	○	「非農家や他産業企業が設立参画」で、「それ以外」に比較し、活用率が高い			
経営者属性	年齢	60歳以上ダミー	経営者が若い（経営者が60歳未満）	アシスト農機	—	傾向がみられない		
			栽培自動化・ロボット	×	「60歳未満」に比較し、「60歳以上」で活用率が高い			
			水管理自動化技術	—	傾向がみられない			

資料：筆者作成。

注1：クロス集計結果の仮説整合性について、仮説と整合的な傾向は「○」、仮説と逆の傾向（不整合な傾向）は「×」、その他（傾向が捉えにくい、仮説整合性の判断が困難、等）は「—」で示す。

3. 相関行列および VIF

各変数について、ピアソンの積率相関係数を用いた相関行列を表 6-7 に示す。多重共線性は説明変数間の線形相関の時に生ずるため (Studenmund 2018)、ここではピアソンの積率相関係数を採用している。被説明変数と説明変数との相関関係をみると、相関係数の絶対値の最大は、「栽培自動化・ロボット活用ダミー」と「ICT 活用力・情報マネジメントの強み・弱み」の 0.41 であり、これらは正の相関関係にあった。

また、説明変数間の相関関係をみると、7 つのうち 5 つの活用要因では、相関係数の絶対値が 0.3 未満であった。一方、相関係数の絶対値の最大は、「利益率目標ダミー4」と「経常利益率ダミー4」の 0.53 であり、利益率目標ダミーや経常利益率ダミーの一部では一定の相関関係が見られた。以上より、相関係数を見ると、多くの活用要因では多重共線性が発生する可能性が低いと考えられた。

なお、相関関係を見る指標は変数の種類（質的変数か量的変数か）等に依存する（竹内ら 1989）との指摘もあることから、それに応じた相関係数も推定した。その結果、全体的な傾向はピアソンの積率相関係数と変わらず、多くの活用要因で相関係数の絶対値が低く、利益率目標ダミーや経常利益率ダミーの一部でのみ一定の相関関係が見られた。

表 6-7 各変数の相関行列

		被説明変数			説明変数														
		現在の活用状況			経営の目標・管理					経営属性									
		アシスト 農機	栽培自動 化・ロボ ット	水管理 自動化	経営目 標	情報・技術マ ネジメント	情報・技術マ ネジメント	売上高 規模	収益性	経営属性	経営属性	経営属性	経営属性	経営属性	経営属性	経営属性	経営属性	経営属性	経営者 属性
被説明 変数	現在の活用 状況	アシスト 農機 活用ダミー	栽培自動 化・ロボ ット 活用ダミー	水管理 自動化 活用ダミー	利益率目 標ダミー 2	利益率目 標ダミー 3	利益率目 標ダミー 4	情報・技術マ ネジメントの 強み・弱み	売上高 （対数）	収益性	経営属性	経営属性	経営属性	経営属性	経営属性	経営属性	経営属性	経営属性	経営者 属性
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
被説明 変数	アシスト農機 活用ダミー	1																	
	現在の活用 状況	0.45	1																
	水管理 自動化技術 活用ダミー	0.18	0.36	1															
説明 変数	経営の目標・ 管理				1														
	利益率目標ダミー2	-0.17	-0.15	-0.18	1														
	利益率目標ダミー3	0.10	-0.05	0.16	-0.44	1													
	利益率目標ダミー4	0.03	0.12	0.05	-0.47	-0.45	1												
	情報・技術 マネジメント	0.29	0.41	0.10	-0.06	0.06	0.05	1											
	売上高 規模	0.26	0.31	0.14	-0.17	0.08	0.19	0.23	1										
	収益性	-0.05	-0.04	-0.14	0.15	0.45	-0.49	0.05	-0.06	1									
	経営属性	0.01	-0.02	0.14	-0.12	-0.14	0.23	-0.01	0.10	-0.38	1								
	経営属性	0.19	0.16	0.13	-0.31	-0.16	0.53	0.12	0.21	-0.32	-0.26	1							
	経営属性	-0.14	-0.15	-0.08	0.14	-0.08	-0.18	-0.25	-0.20	-0.30	-0.25	-0.20	1						
経営者 属性	営農年数	0.27	0.15	0.06	0.03	0.03	-0.01	0.17	0.29	0.16	0.03	-0.07	-0.21	1					
	法人設立 経緯	0.26	0.26	0.17	-0.14	0.02	0.09	0.09	-0.12	0.01	0.07	-0.15	0.05	-0.07	1				
	年齢	0.05	0.20	0.03	-0.05	-0.07	0.08	0.05	-0.09	-0.08	-0.02	0.07	0.03	-0.23	0.11	1			

資料：九州大学農業経営学研究室が実施した全国農業法人アンケートの回答結果（南石 2021）より筆者作成。

注 1：ピアソンの積率相関係数を示す。相関係数の絶対値が、0.30 以上の場合は太字、0.50 以上の場合は太斜字で示す。

各プロビット・モデルの VIF の推定結果を表 6-8 に示す。VIF が最も大きい説明変数は「利益率目標ダミー3」であり、各プロビット・モデル平均 7.97 (5.32~9.54) であった。画一的な VIF の基準値は存在しないが、VIF が 5 や 10 よりも大きい場合、多重共線性が深刻であるとされている（石黒 2014、Studenmund 2018）。本プロビット・モデルでは利益率目標ダミーで VIF が 5 以上 10 未満であるが、その他の活用要因では VIF が 5 未満であった。したがって、VIF をみると、利益率目標ダミーで多重共線性の可能性に留意が必要なものの、相関係数と同様に多くの活用要因では多重共線性の可能性は低いと考えられた。

表 6-8 各モデルの VIF

説明変数			VIF			
大区分	中区分	小区分	アシスト 農機	栽培自動化 ・ロボット	水管理 自動化技術	平均
経営の 目標・ 管理	経営目標 ※基準：0% (収支均衡)	利益率目標ダミー1	3.90	6.27	5.80	5.32
		利益率目標ダミー2	5.88	8.99	8.50	7.79
		利益率目標ダミー3	5.32	9.54	9.05	7.97
	情報・技術 マネジメント	ICT活用力・ 情報マネジメント の強み・弱み	1.17	1.22	1.20	1.20
経営 属性	売上高規模	水稻売上高（対数）	1.43	1.36	1.43	1.41
		経常利益率ダミー1	1.99	1.88	1.97	1.95
	収益性 ※基準：0% (収支均衡)	経常利益率ダミー2	3.80	3.75	3.73	3.76
		経常利益率ダミー3	2.83	3.11	3.02	2.99
		経常利益率ダミー4	2.64	2.84	2.83	2.77
	営農年数	営農開始後の 経過年数（対数）	1.27	1.22	1.29	1.26
	法人設立 経緯	非農家等 設立参画ダミー	1.17	1.15	1.15	1.16
経営者 属性	年齢	60歳以上ダミー	1.09	1.14	1.11	1.11
平均			2.71	3.54	3.42	3.22

資料：九州大学農業経営学研究室が実施した全国農業法人アンケートの回答結果（南石 2021）に基づいた VIF 推計結果より筆者作成。

4. 自動化・ロボット技術の活用要因に関するプロビット分析結果

表 6-9 に各自動化・ロボット技術のプロビット分析結果を示す。

アシスト農機では、非農家等設立参画ダミー、営農開始後の経過年数（対数）、水稻売上高（対数）の順序で変数選択された。有意な変数について係数の符号を解釈すると、法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画し、営農開始後の経過年数が長い経営ほど、アシスト農機を活用していると解釈できた。これらの結果は、仮説と整合的であった。これら変数の限界効果をみると、法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画している経営は、それ以外の経営に比較し、アシスト農機を活用している確率が 50.9 ポイント上昇する結果になった。また、営農開始後の経過年数（対数）の限界効果は 15.9 ポイントであった。この限界効果は「 $\ln X$ が 1 上昇する」時の値であるが、より具体的に解釈するため、「 X が 10% 上昇する」と概ね同値である「 $\ln X$ が 0.1 上昇する」場合で解釈する。その結果、営農開始後の経過年数が 25.4 年（当該モデル平均）の経営に比較し、2.5 年長い 27.9 年の経営では、アシスト農機を活用している確率が 1.6 ポイント上昇する結果になった。

栽培自動化・ロボットでは、ICT 活用力・情報マネジメントの強み・弱み、経営者年齢 60 歳以上ダミー、水稻売上高（対数）、非農家等設立参画ダミーの順序で変数選択された。有意な変数について係数の符号を解釈すると、ICT 活用力・情報マネジメントを強みと捉え、経営者の年齢が 60 歳以上で、水稻売上高が大きく、法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画している経営ほど、栽培自動化・ロボットを活用していると解釈できた。選択変数のうち、ICT 活用力・情報マネジメントの強み・弱みや水稻売上高（対数）、非農家等設立参画ダミーは、仮説と整合的な結果であった。一方、経営者年齢は仮説と逆の結果が得られた。

ここで、経営者年齢については、高齢化に伴う農業現場の課題の表出、具体的には農作業における身体負担（疲労や作業強度）等の課題が表出し、それを解決するために、栽培自動化・ロボットの活用が進んでいる可能性が考えられた。スマート農業の活用に関する生産者調査（中国地域創造研究センター2019）によると、スマート農業の活用あるいは活用意向の理由として「経営課題解決が具体的に期待できる」が最も多く、スマート農業活用によって「解決した」あるいは「解決したい」農業経営上の課題はともに「農作業の省力化」が最も多いことが明らかになっている。また、農業経営上の課題で「現場作業の省力化」と回答した農業法人経営は、経営者年齢 30～40 歳代で最も少なく、次いで 70 歳代以上となり、50～60 歳代で最も多かった（中国地域創造研究センター2019）。したがっ

て、若い経営者に比較し、高齢な経営者の方が農業現場の省力化を志向し、その課題解決としてスマート農業技術を活用している可能性が考えられた。

一方、衣笠ら（2021）は、農家への情報技術（IT）の利用推進において年齢が若いことが重要と指摘している。この研究との結果の差異は、分析対象技術の違いによると考えられた。具体的には、衣笠ら（2021）の対象技術は IT であり、南石（2022、pp.33-34）によると「生産者の栽培管理判断・意思決定の支援あるいは代替」、つまり「人による農作業の知的側面の支援・代替」を目指している技術といえる。一方、本章の対象技術である自動化・ロボット技術は、「農作業の自動化という意味では、M 技術のさらなる発展ととらえることができ」、「人による農作業の物理的側面の代替」を目指している技術といえる（南石 2022、p.33）。以上のように IT と自動化・ロボット技術は、活用場面や代替する農作業の側面が異なる点が、技術活用要因の差異に影響したと考えられた。この点は、ICT を含むスマート農業技術の活用数を分析対象とした Mi et al. (2021) および南石 (2022) との分析結果の差異においても同様であると考えられた。

なお、松本ら（2004）では、水稻ロングマット水耕苗の育苗・移植技術について、「ぜひ導入したい」や「共同なら導入したい」経営では 50 歳以上の割合が多く、平均年齢も高いことを明らかにしている。また、「共同なら導入したい」経営は「年齢が高いという経営条件とともに育苗・田植作業の労働強度や労働力不足といった問題を意識している」ことを指摘している（松本ら 2004、p.39）。

以上のことから、経営者の年齢が高いことは、機械投資、特に省力・軽労化に貢献する技術への投資に、必ずしも繋がりにくいとはいえないことが示唆された。

次に、栽培自動化・ロボットにおける選択変数の限界効果を解釈する。ICT 活用力・情報マネジメントの強み・弱みの限界効果は 13.8 ポイントであり、このモデルの自己評価（5 段階）の平均値は 2.5 であった。これを具体的に解釈するため、平均値前後の自己評価段階で栽培自動化・ロボットを活用している確率を推計すると、「やや劣っている（自己評価=2）」の経営に比較し、「どちらともいえない（自己評価=3）」の経営では、活用している確率が 16.0 ポイント上昇する結果になった。また、経営者の年齢が 60 歳以上の経営は、60 歳未満の経営に比較し、栽培自動化・ロボットを活用している確率が 24.3 ポイント上昇する結果になった。そして、水稻売上高（対数）の限界効果は 15.1 ポイントであった。これも「 $\ln X$ が 0.1 上昇する」場合で解釈すると、水稻売上高が 6,051.5 万円（当該モデル平均）の経営に比較し、605.1 万円高い 6,656.6 万円の経営では、栽培自動化・ロ

ロボットを活用している確率が 1.5 ポイント上昇する結果になった。最後に、法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画している経営は、それ以外の経営に比較し、栽培自動化・ロボットを活用している確率が 40.6 ポイント上昇する結果になった。

水管理自動化技術では、非農家等設立参画ダミーが変数選択された。非農家等設立参画ダミーの係数および限界効果の符号は仮説と整合的であったが、有意な結果ではなかった。

表 6-9 変数増減法によるプロビット分析結果

説明変数 ^(注1)			アシスト農機		栽培自動化・ロボット		水管理自動化技術	
大区分	中区分	小区分	係数	限界効果	係数	限界効果	係数	限界効果
経営の目標・管理	経営目標 ※基準：0% (収支均衡)	利益率目標ダミー2						
		利益率目標ダミー3						
		利益率目標ダミー4						
	情報・技術 マネジメント	ICT活用力・ 情報マネジメント の強み・弱み			0.694**	0.138***		
経営属性	売上高規模	水稻売上高 (対数)	0.352	0.082	0.756**	0.151***		
	収益性 ※基準：0% (収支均衡)	経常利益率ダミー2						
		経常利益率ダミー3						
		経常利益率ダミー4						
		経常利益率ダミー5						
	営農年数	営農開始後の 経過年数 (対数)	0.683**	0.159**				
経営者属性	法人設立経緯	非農家等 設立参画ダミー	1.662***	0.509***	1.719**	0.406**	0.810	0.245
	年齢	60歳以上ダミー			1.325**	0.243***		
AIC			60.17		54.50		56.24	
n ^(注2)			62		62		62	
Log Likelihood			-26.08		-22.25		-26.12	
McFaddenの疑似決定係数			0.24		0.37		0.05	

資料：九州大学農業経営学研究室が実施した全国農業法人アンケートの回答結果（南石 2021）に基づいたプロビット分析結果より筆者作成。

注 1：変数増減法で選択されなかった説明変数は空欄で、変数増減法で選択された説明変数は係数および限界効果を示す。また、「***」は 1%水準、「**」は 5%水準、「*」は 10%水準で統計的に有意であることを示す。中区分の「※基準」は、ダミー変数の基準カテゴリを示す。なお、各モデルには定数項 β_0 を含むが、本章は活用要因の影響を限界効果として定量的に示すことを目的としているため、定数項の推定値を省略している。

注 2：表中の全変数の調査項目に回答した経営のみをプロビット分析に用いたため、各モデルの n は、基本統計量で示した各変数の n よりも小さい。各変数の有効回答数を確認した結果、全説明変数の未回答を除いた場合は $n = 70$ で、そのうち各自動化・ロボット技術の活用・未活用に回答したサンプルは $n = 62$ であった。ただし、各自動化・ロボット技術のプロビット分析で用いた回答経営は全て同じ経営ではない。例えば、アシスト農機の活用・未活用を回答したが、水管理自動化技術の活用・未活用を回答しなかった経営は $n = 3$ であった。なお、各モデルの n に最も影響した説明変数は、基本統計量で n が最も小さかった「営農開始後の経過年数 ($n = 84$) 」と考えられた。

ここで、先述の通り、変数除外による内生性の問題を避けるために強制投入法が推奨されることがあることから、参考として強制投入法によるプロビット分析結果を表 6・10 に示す。この分析においても、変数増減法と概ね同様の結果が得られた。具体的には、強制投入法では一部の説明変数で新たに有意な結果が得られたものの、変数増減法で有意な説明変数は強制投入法でも有意な結果が得られ、係数符号も同じであった。したがって、変数増減法で有意な結果が得られた活用要因は、強制投入法を適用しても同様に重要な活用要因であることが明らかになった。

また、いずれの手法でも同様の結果が得られたこと等から、変数増減法の留意点について本章では大きな問題は発生していないと考えられた。具体的には、変数増減法の分析結果は、強制投入法と同様の結果であった上、ほとんどが仮説整合的であったことから主要な結果として扱っても問題なく、一定の相関関係にある利益率目標ダミーと経常利益率ダミーがともに変数選択されなかったことから変数除外による内生性の問題がほとんど無い、と考えられた。

なお、複数カテゴリのダミー変数について、基準カテゴリを変更することによって分析結果が変化する可能性がある。そこで基準カテゴリを、利益率目標ダミーは「10%以上」、経常利益率ダミーは「赤字」や「15%以上」に変更した場合でも推定を行った。その結果、選択変数はいずれの基準カテゴリでも変化せず、係数等の推定結果もほとんど変わらなかった。ただし、水管理自動化技術のみで、選択変数は変わらないものの、共線性のため一部の変数とサンプルが除外された推定結果が得られた。したがって、いずれの基準カテゴリにおいても先述の分析結果と概ね同様の結果が得られ、分析結果への基準カテゴリの影響はほとんどないと考えられた。

表 6-10 強制投入法によるプロビット分析結果

説明変数 ^(注1)			アシスト農機		栽培自動化 ・ロボット		水管理 自動化技術	
大区分	中区分	小区分	係数	限界効果	係数	限界効果	係数	限界効果
経営の 目標・ 管理	経営目標 ※基準：0% (収支均衡)	利益率目標ダミー2	-1.072	-0.177	-6.039	-0.42	5.284	0.593***
		利益率目標ダミー3	-1.318	-0.181	-5.925	-0.4	6.292	0.611***
		利益率目標ダミー4	-3.414***	-0.348***	-5.698	-0.395	5.729	0.599***
	情報・技術 マネジメント	ICT活用力・ 情報マネジメント の強み・弱み	0.215	0.036	0.719**	0.121***	0.069	0.014
経営 属性	売上高規模	水稻売上高（対数）	0.581	0.098	1.015**	0.171***	-0.169	-0.035
	収益性 ※基準：0% (収支均衡)	経常利益率ダミー2	-1.107	-0.172	0.517	0.088	-0.845	-0.157
		経常利益率ダミー3	0.517	0.09	-0.33	-0.054	0.199	0.042
		経常利益率ダミー4	1.525	0.304	-0.382	-0.06	0.188	0.04
		経常利益率ダミー5	-1.203	-0.164	-4.609	-0.251	0.384	0.088
	営農年数	営農開始後の 経過年数（対数）	1.254***	0.211***	0.175	0.029	0.079	0.016
経営者 属性	法人設立経緯	非農家等 設立参画ダミー	2.900***	0.599***	1.838**	0.371**	0.921	0.246
	年齢	60歳以上ダミー	0.695	0.109	1.539**	0.242***	0.393	0.077
AIC			63.96		64.17		71.48	
n ^(注2)			62		62		62	
Log Likelihood			-18.98		-19.09		-22.74	
McFaddenの疑似決定係数			0.45		0.46		0.17	

資料：九州大学農業経営学研究室が実施した全国農業法人アンケートの回答結果（南石 2021）に基づいたプロビット分析結果より筆者作成。

注1：「***」は1%水準、「**」は5%水準、「*」は10%水準で統計的に有意であることを示す。中区分の「※基準」は、ダミー変数の基準カテゴリを示す。なお、各モデルには定数項 β_0 を含むが、本章は活用要因の影響を限界効果として定量的に示すことを目的としているため、定数項の推定値を省略している。

注2：表 6-9と同様に、表中の全変数の調査項目に回答した経営のみをプロビット分析に用いたため、各モデルのnは、基本統計量で示した各変数のnよりも小さい。

5. 自動化・ロボット技術に共通・固有の活用要因

以上のプロビット分析結果より、稲作法人経営における各自動化・ロボット技術について、共通の活用要因と、それぞれに固有の活用要因を整理した。

まずアシスト農機と栽培自動化・ロボットの共通の活用要因として、法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画している点があげられた。このように法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画している経営は、他産業の知見を有している経営と考えられた。自動化・ロボット技術を含むスマート農業技術は、他産業で活用が進む先端技術を農業生産に適用した技術といえる。したがって、アシスト農機や栽培自動化・ロボットの活用には、経営が有する他産業や先端技術（ICT やロボット技術等）に関連する知見・人材の影響があり、これらが重要な活用要因になることが示唆された。この活用要因の重要性は、それぞれの自動化・ロボット技術で限界効果が最も高い活用要因であった点や、アシスト農機では最初に変数選択された活用要因であった点からも伺えた。また、経営内の ICT に詳しい人材の有無等の経営環境も ICT を業務に活用する上で重要な要因と指摘している竹内・南石（2013）とも整合的であった。

他方、自動化・ロボット技術それぞれで固有の活用要因として、アシスト農機は営農開始後の経過年数、栽培自動化・ロボットは ICT 活用力・情報マネジメントの強み・弱み、経営者年齢、水稻売上高があげられた。

営農開始後の経過年数は、アシスト農機で活用要因となり、農業法人経営における生産部門での ICT 活用要因を分析した竹内・南石（2013）の分析結果と整合的であった。この結果の解釈について、竹内・南石（2013）では具体的に明記されていないが、解釈としては数点考えられた。例えば、営農年数の違いによって、営農への対応が変化すること（吉原ら 1984）や、経営発展度（自己資本比率等）や地域貢献度（農地維持等）が異なること（竹山・山本 2013）が指摘されており、これらが影響した可能性が考えられた。この他に、営農年数が長い経営ほど、従事者の高齢化が進むこと、それに伴い後継者としての新規就農者（初心者）を雇用していること、等も可能性として考えられた。従事者の高齢化は、栽培自動化・ロボットの経営者年齢の解釈と同様に、高齢化に伴う農作業の身体負担（疲労や作業強度）等の課題を解決するために活用されていることが考えられる。また、自動化・ロボット技術は、第2章等で述べたように技能と密接に関係しており、技能・ノウハウが必要な作業を非熟練者が熟練者と同等以上の精度・速度で作業が可能となること（野口 2019a、農林水産省 2020e）が期待され、その効果の大きさは第5章の分析で明らかに

なっている。したがって、アシスト農機は非熟練者が使うことによる活用メリットが大きいと考えられ、後継者としての新規就農者（初心者）の存在も影響している可能性が考えられた。

ICT 活用力・情報マネジメントの強み・弱みは、栽培自動化・ロボットで活用要因となり、Mi et al. (2021) および南石 (2022) とも整合的な結果であった。栽培自動化・ロボットは、GNSS 等の ICT との関係性・重要性がより高いため、ICT 活用力や情報マネジメントの影響がより強くなったと考えられた。例えば、農業用ドローンで自動航行・空中散布を行う場合は、GNSS 等による圃場測量データの収集、基地局設置、タブレット等での飛行経路作成・作業指示が必要となる (Nileworks 2021)。

経営者年齢は、栽培自動化・ロボットで活用要因となり、衣笠ら (2021)、Mi et al. (2021) および南石 (2022) とは不整合な結果であった。これは先述の通り、栽培自動化・ロボットが高齢経営者の省力化志向により応えた技術と捉えられているためと考えられた。栽培自動化・ロボットのロボット農機は自動化レベル 2 に分類でき、オペレータの農機搭乗が不要で、圃場内あるいは圃場周辺からの監視のみで農作業が可能である (農林水産省 2016b)。また、ドローンによる農薬散布について、「身体の維持管理もしやすくなった」という現場の声もある (農林水産技術会議事務局 2020)。これらのことが、高齢な経営者の省力化志向と合致したと考えられた。

水稻売上高は、栽培自動化・ロボットで活用要因となり、国際大学 GLOCOM (2019) とも整合的な結果であった。栽培自動化・ロボットのうちロボット農機は、アシスト農機に比較し、自動化レベルが高いこともあり、高価である (表 6-1)。仮説で示したように、水稻売上高規模が大きい経営は、自動化・ロボット技術 1 台当たりの面積も大きく、面積当たりの導入費用が下がると考えられた。そのため、より高価なロボット農機を含む栽培自動化・ロボットの活用要因として、売上高規模の影響がより強く表れたと考えられた。

以上のように、アシスト農機や栽培自動化・ロボットでは活用要因が明らかになった一方、水管理自動化技術では有意な結果が得られなかった。このようなアシスト農機や栽培自動化・ロボットと水管理自動化技術との結果の相違として、各技術の特性（分割可能性や価格帯、対象作業、地域の水利条件の影響等）が異なるためと考えられた。例えば、売上高規模の指標が選択されなかった理由として、技術の分割可能性が考えられた。具体的には、アシスト農機や栽培自動化・ロボットは 1 台当たりの生産規模を高めることで規模

の経済が期待できる一方、水管理自動化技術は圃場単位で設置・活用する必要があり規模の経済が期待できないと考えられた。この点について、水管理自動化技術を全圃場に設置し大規模に活用する場合は、ロボット農機と比較し、導入コストが大きくなり、結果的に生産コストの増加に繋がるということがシミュレーション分析で明らかになっている（第4章および馬場ら 2022）。他方、水管理自動化技術は1台当たりの価格帯が比較的安価であり（表6-1）、小規模な経営でも数台を試験的に活用することが可能である。これは水稻売上高とのクロス集計結果より、他の自動化・ロボット技術と異なり「3000万円未満」でも比較的活用されている点からも伺える。以上のような点から水管理自動化技術は、それ以外の自動化・ロボット技術と異なる、固有の活用要因があることが考えられた。これは表6-6のクロス集計結果の仮説整合的な活用要因が少なかった点からも示唆された。水管理自動化技術に固有の活用要因の解明には、活用要因の探索的な研究が有効と考えられ、これは今後の課題としたい。

ところで、自動化・ロボット技術の将来の活用意向を規定する要因について、本章と同様のモデルを用いた筆者の研究（Baba et al. 2023, to be presented）によって明らかになっている。具体的には、アシスト農機の将来の活用意向を規定する要因は情報・技術マネジメントと営農年数で、ICT活用力・情報マネジメントが他社と比較し優れていると自己評価し、営農開始後の経過年数が短い経営ほど、アシスト農機を将来活用したいと考えていることが明らかになった。これについて営農年数は現在の活用状況と逆の傾向を示し、営農年数が短い経営は現在活用していない傾向にあるものの、将来は活用したいと考えている傾向が見られた。また、栽培自動化・ロボットの将来の活用意向を規定する要因は営農年数で、営農開始後の経過年数が短い経営ほど、栽培自動化・ロボットを将来活用したいと考えていることが明らかになった。そして、水管理自動化技術の将来の活用意向を規定する要因は収益性で、直近決算の売上高経常利益率が赤字の経営は、0%（収支均衡）の経営と比較し、水管理自動化技術を将来活用したいと考えていることが明らかになった。

以上より、自動化・ロボット技術の現在の活用状況と将来の活用意向を規定する要因は異なり、営農開始後の経過年数が短いことがアシスト農機や栽培自動化・ロボットの将来の活用意向を規定する共通要因であること等が明らかになった。このような経営に対し、自動化・ロボット技術を活用に影響すると考えられた事柄を伝達・促進することで、より効果的で経営改善を伴う技術導入活用が進むことが期待されると考えられた。例えば、アシスト農機や栽培自動化・ロボットについて、普及機関等が、営農開始後の経過年数が短

い経営（新規就農や新規参入など）に対し、他産業で活用が進む先端技術（ICT や RT など）に関する知識獲得等の機会（他産業での活用事例の情報収集の場としての研修会や他産業合同の技術展示会等）を設けることで、経営改善や経営革新に繋がる活用を促すことが期待できると考えられた。このような知見獲得や人材育成に向けては現在のスマート農業教育推進政策（農林水産省 2022a）の一環として取り組むこと等も有効と考えられた。

第4節 おわりに

本章では、ロボット技術の効果的な導入活用に資する知見を得るために、稲作法人経営における自動化・ロボット技術の現在の導入活用状況を規定する要因を、九州大学農業経営学研究室が2019年に実施した全国農業法人アンケートの回答結果（南石 2021）に基づいて、プロビット・モデルで明らかにした。分析の結果、アシスト農機および栽培自動化・ロボットの現在の導入活用状況を規定する共通の要因は、非農家出身者や他産業企業が法人設立に参画していることであった。また、アシスト農機に固有の要因として営農開始後の経過年数が長いこと、栽培自動化・ロボットに固有の要因としてICT活用力・情報マネジメントを強みと捉えていること、経営者が60歳以上であること、水稻売上高が大きいことであった。一方、水管理自動化技術では有意な結果が得られなかった。

加えて、これら導入活用要因が自動化・ロボット技術の導入活用にどの程度影響しているかについても定量的に明らかになった。具体的には、アシスト農機を導入活用している確率は、法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画している経営で50.9ポイント上昇し、営農開始後の経過年数が25.4年の経営に比較し27.9年の経営では1.6ポイント上昇する結果になった。また、栽培自動化・ロボットを導入活用している確率は、ICT活用力・情報マネジメントの強み・弱みの自己評価が1単位上がると13.8ポイント上昇、経営者の年齢が60歳以上の経営は24.3ポイント上昇、水稻売上高が6,051.5万円の経営に比較し6,656.6万円の経営では1.5ポイント上昇、法人設立に非農家出身者や他産業企業が参画している経営は40.6ポイント上昇する結果になった。

以上より、稲作法人経営におけるアシスト農機と栽培自動化・ロボットの導入活用では、非農家出身者や他産業企業が法人設立に参画していることが重要な要因であり、経営が有する他産業や先端技術（ICTやロボット技術等）に関連する知見・人材の影響があることが示唆された。また、自動化・ロボット技術の種類による導入活用要因の差異は、各技術の特性（分割可能性や価格帯、対象作業等）の違いから見られると考えられた。したがって、稲作法人経営における他産業や先端技術（ICTやロボット技術等）に関連する知見獲得や人材確保・育成は自動化・ロボット技術の効果的な導入活用において重要であると共に、各技術の特性に応じた導入活用が求められることが示唆された。第4～5章で想定したロボット農機は、アシスト農機や栽培自動化・ロボットの延長線上にあると考えられ、本章で得られた知見が、将来のロボット農機の効果的な導入活用を図る際にも有用であると考えられた。

第7章 結論

第1節 各章の要約

本論文では、稲作主要作業（耕起・代かき、田植え、水管理、収穫等）の技能向上およびロボット技術（省力化技術）導入が、稲作法人経営の経営規模、労働時間および生産コストに及ぼす影響を解明することを目的にした。さらに、ロボット技術の効果的な導入活用に資するため、稲作法人経営における自動化・ロボット技術の導入活用を規定する要因の解明を目的にした。本論文の内容は以下のように要約される。

第1章では、わが国の稲作が直面している主要産出国と比較し高い生産コストや労働力不足等の課題の解決のため、稲作経営の法人化・大規模化の進展等に伴い重要性がさらに高まっている農業者が有する技能の向上・伝承や、ロボット技術に代表される省力化技術に焦点を当てることを述べた。そして、それらに関する主要概念や、既存研究の成果および問題点を示し、本論文の目的および枠組みを提示した。

第2章では、本論文の主要な概念の定義や、対象の限定、分析手法の整理や考察を行った。具体的には、技能や技術、技能の技術化、ロボット技術等について整理、考察し、本論文の対象を限定した。また、分析手法として経営的評価手法や計量経済モデルについて言及し、第3～5章では数理計画法を、第6章ではプロビット・モデルを採用することを示した。

第3章では、「技能」に着目し、稲作主要作業の技能向上が稲作法人経営の作付面積や労働時間、生産コストに及ぼす影響を定量的に明らかにした。具体的には、稲作主要作業の作業能率に関する技能に着目し、その技能水準による最適農計画の差異を分析した。最適農計画を算出する数理計画モデルは、滋賀県の農業経営指標や同県所在の先進大規模稲作法人経営の実績データ等を参考に、作業リスク等も考慮して構築した。作業リスクに慎重な経営を想定した分析の結果、初心者から熟練者への技能向上によって、最適作付面積は増加し、それに伴い1人当たり年間総労働時間も増加することが明らかになった。また、玄米1kg当たり経営費は低減し、その内訳を見ると玄米1kg当たり支払い雇用労賃が増加するものの、それ以上に玄米1kg当たり固定費が低減することが明らかになった。これらの分析結果から、初心者からの技能向上は大幅な規模拡大やコスト低減に繋がることが示唆された。また、数理計画法による分析によって、稲作法人経営における技能向上はコスト低減に効果があるという結論がより一般化されたといえる。以上より、稲作法人

経営において労働力不足下での規模拡大や生産コスト低減を目指す際には、人材育成等を通して初心者稲作主要作業に関する技能を向上させることが有効な方策の一つであることが示唆された。

第4章では、「技術（省力化技術）」に着目し、ロボット技術の導入が稲作法人経営の作付面積や労働時間、生産コストに及ぼす影響を定量的に明らかにした。具体的には、将来（5～10年後）実現が予想される、稲作主要作業を完全自動化できるロボット技術の導入効果（それぞれ規模拡大効果、労働代替効果、費用対効果）を分析した。その際に、ロボット技術導入の有無と共に、作業リスク選好や従事者数低減の有無に関するシナリオを設定し、それら最適営農計画の差異を分析した。数理計画モデルは、第3章とは異なる事例（茨城県所在の先進大規模稲作法人経営）の実績データ等を参考に新たに収集・整理したデータに基づき、作業リスクや働き方改革も考慮して構築した。分析の結果、稲作法人経営の技能水準と同等の性能（作業時間・精度）を有するロボット技術の導入は、作業リスクに慎重な経営では最適作付面積を変化させず、強気な経営では最適作付面積を増加させるがその程度は限定的であることが明らかになった。また、作業リスク選好に関わらず、1人当たり年間総労働時間の低減および玄米1kg当たり支払い雇用労賃の低減に寄与するものの、現状市販価格帯では玄米1kg当たり経営費の増加に繋がることが明らかになった。以上より、技能水準と同等の性能を有するロボット技術の導入は、稲作法人経営における労働代替効果が期待される一方、現在の技術的課題解決や運用上の法律的な規制緩和が行われたとしても、現状市販機価格帯では生産コストの低減には直結せず、作業リスク選好によっては規模拡大にも繋がらないことが示唆された。また、作業リスクに慎重な経営は、技能水準と同等の性能を有するロボット技術を導入しても経営規模は拡大できず、生産コスト面でも課題が残るため、ロボット技術導入のメリットは労働時間低減（省力化）の面が多くを占めることが示唆された。

第5章では、「技能」と「技術」の両面に着目し、稲作主要作業の技能水準が、稲作法人経営におけるロボット技術の規模拡大効果や労働代替効果に及ぼす影響を定量的に明らかにした。この分析における技能やロボット技術の想定は、第3章の技能水準別シナリオや、第4章のロボット技術の前提条件を参考にした。また、数理計画モデルは第4章と同様のモデルを用い、ロボット技術導入の有無や作業リスク選好による最適営農計画の差異を分析した。分析の結果、初心者経営では、作業リスク選好に関わらず、熟練者水準の性能（作業時間・精度）を有するロボット技術の導入によって、規模拡大効果が大きく発現

する一方、労働代替効果は発現しないことが明らかになった。これは熟練者経営におけるロボット技術の導入効果と対照的な結果であり、稲作法人経営の技能水準は、ロボット技術の導入効果の発現する種類やその程度に影響を及ぼすことが明らかになった。具体的には、ロボット技術の性能（作業時間・精度）に対し、技能水準が低い経営は規模拡大効果が大きく発現し、技能水準が同等の経営は労働代替効果が大きく発現することが示唆された。また、作業リスク選好の影響をみると、ロボット技術の規模拡大効果は、初心者経営では慎重の方が大きく、熟練者経営では強気の方が大きくなる傾向が明らかになった。したがって、ロボット技術の導入を検討する場合、経営の技能水準やリスク選好と、検討対象のロボット技術の性能（作業時間・精度）および導入経費を勘案し、ロボット技術の導入効果を事前評価することが望ましいことが示唆された。

第6章では、ロボット技術の効果的な導入活用に資する知見を得るために、稲作法人経営における自動化・ロボット技術の現在の導入活用状況を規定する要因を明らかにした。具体的には、九州大学農業経営学研究室が2019年に実施した全国農業法人アンケートのデータにプロビット・モデルを適用した。分析の結果、アシスト農機および栽培自動化・ロボットの現在の導入活用状況を規定する共通の要因は、非農家出身者や他産業企業が法人設立に参画していることであった。また、アシスト農機に固有の要因として営農開始後の経過年数が長いこと、栽培自動化・ロボットに固有の要因としてICT活用力・情報マネジメントを強みと捉えていること、経営者が60歳以上であること、水稻売上高が大きいことであった。一方、水管理自動化技術では有意な結果が得られなかった。以上より、稲作法人経営におけるアシスト農機と栽培自動化・ロボットの導入活用では、経営が有する他産業や先端技術（ICTやロボット技術等）に関連する知見・人材の影響があることが示唆された。また、自動化・ロボット技術による導入活用要因の差異は、各技術の特性（分割可能性や価格帯、対象作業等）の違いから見られると考えられた。したがって、稲作法人経営における他産業や先端技術（ICTやロボット技術等）に関連する知見獲得や人材確保・育成は自動化・ロボット技術の導入活用において重要であると共に、各技術の特性に応じた導入活用が求められることが示唆された。第4～5章で想定したロボット農機は、アシスト農機や栽培自動化・ロボットの延長線上にあると考えられ、第6章で得られた知見が、将来のロボット農機の効果的な導入活用を図る際にも有用であると考えられた。

第2節 本論文の結論

1. 主要な結論

本論文の分析により、稲作主要作業の技能向上および省力化技術導入が、稲作法人経営に及ぼす影響と共に技術の導入活用要因を明らかにした。本論文の主要な結論は以下に述べる通りである（図 7-1）。

作業リスクに慎重な経営を想定すると、稲作主要作業（耕起・代かき、田植え、水管理、収穫等）に関する技能向上が規模拡大や生産コスト低減に繋がることが明らかになった。また、強気な熟練者経営と共に初心者経営ではリスク選好によらず、熟練者水準の性能（作業時間・精度）を有するロボット技術の導入による規模拡大効果が見られることが明らかになった。加えて、熟練者経営ではリスク選好によらず労働代替効果が見られることが明らかになった。一方、慎重な熟練者経営では規模拡大効果が見られないこと、初心者経営ではリスク選好によらず労働代替効果が見られないこと、熟練者経営ではリスク選好によらず費用対効果が見られないことが明らかになった。さらに、自動化・ロボット技術の導入活用要因として非農家出身者や他産業企業が法人設立に参画していること等が明らかになり、他産業や先端技術に関連する知見・人材等が技術の導入活用に影響することが示唆された。

以下では、各指標の関係やリスク選好、技術導入効果が発現する経営条件について、本論文の結論を具体的に述べる。

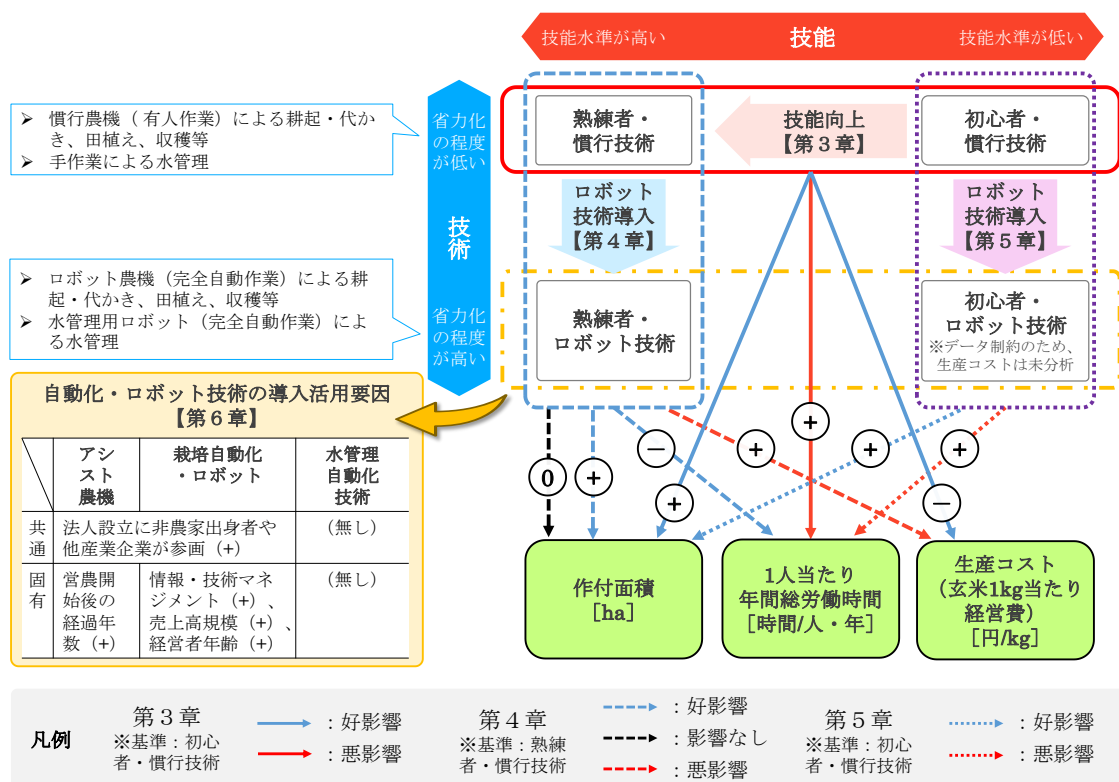


図 7-1 本論文の主要な結論

資料：第3～5章の全シナリオ分析結果および第6章のプロビット分析結果より筆者作成。

注 1：第3～5章では、稲作法人経営の各指標に及ぼす主要な影響について、好影響な場合は青矢印で、悪影響な場合は赤矢印で、影響がない場合は黒矢印で示す。また、符号について、各指標の増加に繋がる場合は「+」で、減少に繋がる場合は「-」で、変化なしは「0」で示す。これらは図中凡例に記載のシナリオを基準にしたときの変化を示す。

注 2：第6章では、自動化・ロボット技術の導入活用により正の影響があることを「+」で示す。

2. 各指標の関係に着目した結論

第3～5章における各指標に及ぼす主要な影響の関係を示したものが図 7・2である。

第一に、作業リスクに慎重な経営を想定した場合の技能向上の影響について、初心者・慣行技術を基準にすると、熟練者・慣行技術では10a 当たり労働時間が低減した結果、作付面積が増加した。それに伴い玄米収穫量が増加した結果、玄米 1kg 当たり固定費が低減した。また、高い雇用労賃や1人当たり年間総労働時間の増加等から、玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃が増加した。しかし、玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃の増加に比較し、玄米 1kg 当たり固定費の低減の方が大きかったため、総体としての生産コスト（玄米 1kg 当たり経営費）の低減に繋がった。

第二に、熟練者経営におけるロボット技術導入の影響について、熟練者・慣行技術を基準にすると、熟練者・ロボット技術では10a 当たり労働時間が低減した結果、作業リスクに強気な場合は作付面積が増加したが、慎重な場合は変化しなかった。また、1人当たり年間総労働時間や玄米 1kg 当たり支払い雇用労賃は低減した。しかし、ロボット技術の導入費（現状市販機価格帯）が玄米 1kg 当たり固定費の増加に大きく影響し、総体としての生産コスト（玄米 1kg 当たり経営費）の増加に繋がった。

第三に、初心者経営におけるロボット技術導入の影響について、初心者・慣行技術を基準にすると、初心者・ロボット技術では稲作主要作業を熟練者水準のロボット技術が初心者にかわり実施した結果、10a 当たり労働時間が低減し、作付面積が増加した。しかし、それに伴い1人当たり年間総労働時間は増加した。

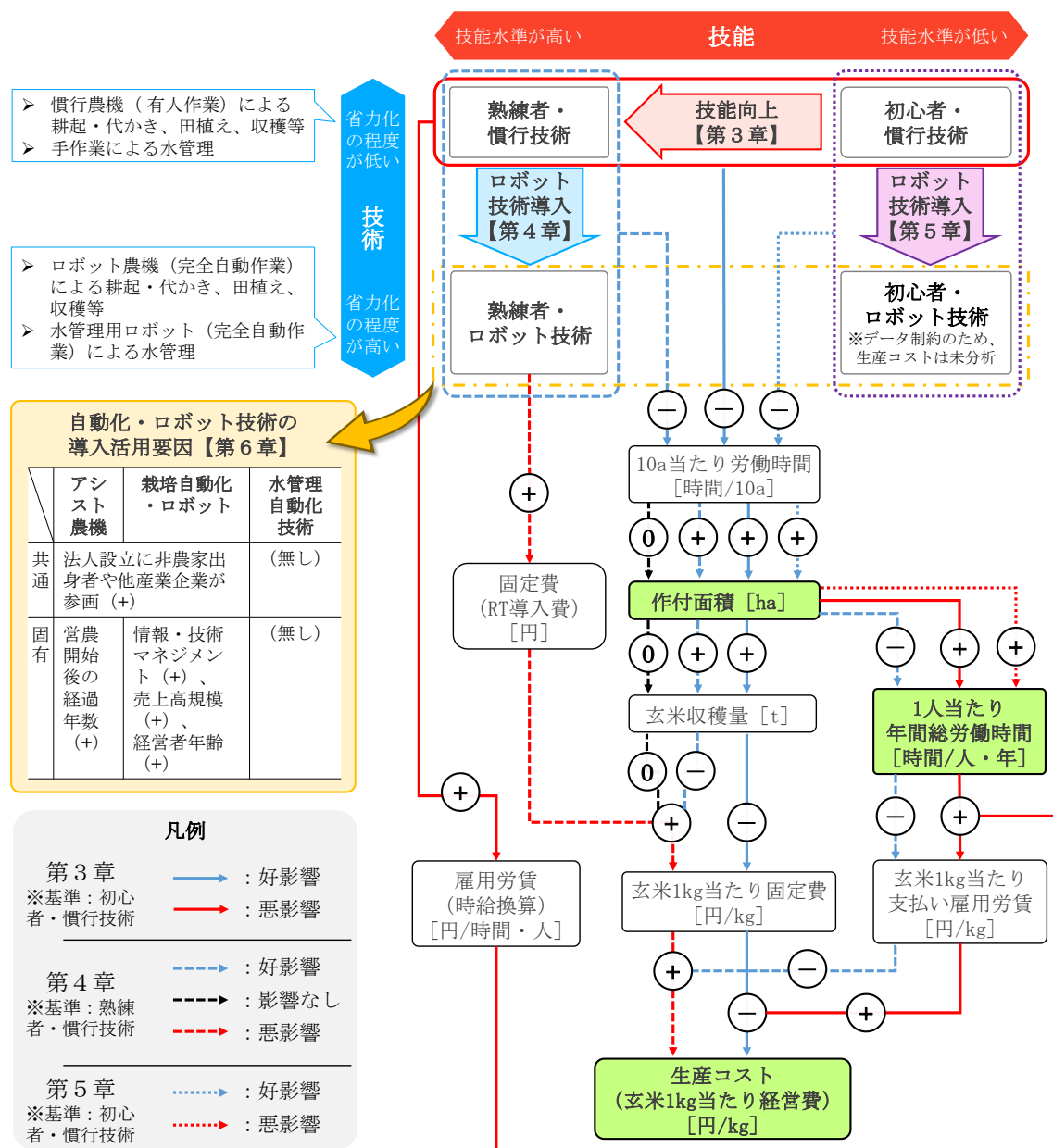


図 7-2 各指標の関係に着目した本論文の結論

資料：第3～5章の全シナリオ分析結果および第6章のプロビット分析結果より筆者作成。

注 1：第3～5章では、稲作法人経営の各指標に及ぼす主要な影響について、好影響な場合は青矢印で、悪影響な場合は赤矢印で、影響がない場合は黒矢印で示す。また、符号について、各指標の増加に繋がる場合は「+」で、減少に繋がる場合は「-」で、変化なしは「0」で示す。これらは図中凡例に記載のシナリオを基準にしたときの変化を示す。

注 2：第6章では、自動化・ロボット技術の導入活用による正の影響があることを「+」で示す。

3. リスク選好に着目した結論

次に、リスク選好に着目し、稲作法人経営における技能向上・技術導入効果を示したものが図 7-3 である。前述の通り、稲作主要作業の技能向上は、作業リスクに慎重な経営を想定すると、作付面積拡大や生産コスト低減の面で効果があることが明らかになった。また、慎重な初心者経営ではロボット技術導入による規模拡大効果が得られることが明らかになった。そして、慎重な熟練者経営では、ロボット技術を導入しても規模拡大効果が発現せず（最適作付面積は変化せず）、費用対効果も現状市販機価格帯では期待できないことから、労働代替効果が主な導入効果になることが明らかになった。

一方、作業リスクに強気な経営を想定した場合、熟練者経営でもロボット技術導入による規模拡大効果が限定的ながらも発現することが明らかになった。また、その他のロボット技術の導入効果は、熟練者経営や初心者経営いずれにおいても、慎重な経営を想定した場合と同様の結果であることが明らかになった。

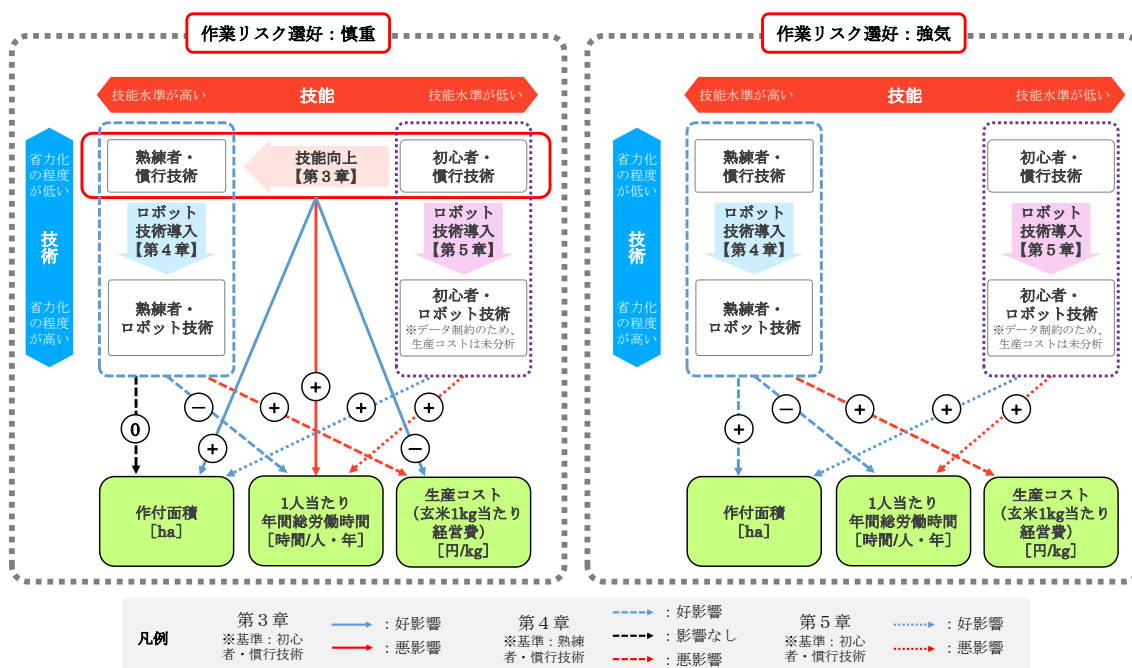


図 7-3 作業リスク選好に着目した本論文の結論

資料：第3～5章の全シナリオ分析結果より筆者作成。

注1：稲作法人経営の各指標に及ぼす主要な影響について、好影響な場合は青矢印で、悪影響な場合は赤矢印で、影響がない場合は黒矢印で示す。また、符号について、各指標の増加に繋がる場合は「+」で、減少に繋がる場合は「-」で、変化なしは「0」で示す。これらは図中凡例に記載のシナリオを基準にしたときの变化を示す。

4. ロボット技術の導入効果が発現する経営条件

最後に、ロボット技術の導入効果が発現する経営条件は表 7-1 のように整理できる。熟練者水準の性能を有し、省力化の程度が高いロボット技術の導入効果が発現する経営条件として、規模拡大効果は作業リスクに強気な熟練者経営や、リスク選好に関わらず初心者経営であることが明らかになった。また、労働代替効果が発現する経営条件はリスク選好に関わらず熟練者経営であることが明らかになった。

一方、導入効果が発現しない経営条件として、規模拡大効果は慎重な熟練者経営であること、労働代替効果は慎重・強気な初心者経営であることが明らかになった。また、費用対効果はリスク選好に関わらず熟練者経営では発現しないことが明らかになった。

表 7-1 ロボット技術の導入効果が発現する経営条件

経営条件	技能水準	熟練者		初心者	
	作業リスク選好	慎重	強気	慎重	強気
規模拡大効果： 最適作付面積の増加		×	○	○	○
労働代替効果： 1人当たり年間総労働時間の低減		○	○	×	×
コスト低減効果： 玄米1kg当たり経営費の低減		×	×	—	—

資料：第4～5章の分析結果より筆者作成。

注1：導入効果がある場合を「○」、ない場合を「×」で示す。「—」はデータ制約のため分析していないことを示す。

5. 結論から得られる含意

以上の結論から得られる含意として、稲作法人経営においては、ロボット技術の導入に際しても、技能向上・人材育成が稲作課題の解決に有効と考えられる。

具体的には、作業リスクに慎重な経営を想定する場合、稲作主要作業に関する技能向上は経営規模拡大や生産コスト低減の面で貢献できると考えられた。また、省力化の程度が高いロボット技術が貢献できる経営条件として以下の諸点が考えられた。ロボット技術の性能（作業時間・精度）と比較し、同等の技能水準を有する強気な経営と共に、性能以下の技能水準を有する経営ではリスク選好によらず、経営規模拡大の面で貢献できると考えられた。また、同等の技能水準を有する経営ではリスク選好によらず、収益最大化を優先しても経営規模を維持しつつ年間総労働時間低減の面で貢献できると考えられた。加えて、他産業や先端技術（ICT やロボット技術等）に関連する知見・人材はロボット技術の導入活用に影響すると考えられた。一方、省力化の程度が高いロボット技術であっても、同等の技能水準を有する慎重な経営では経営規模拡大に貢献できず、リスク選好によらず生産コスト低減の面で貢献できないと考えられた。また、性能以下の技能水準の経営ではリスク選好によらず、収益最大化・経営規模拡大を優先した時に年間総労働時間の低減の面で貢献が期待できないと考えられた。

以上より、技能向上・人材育成は生産コスト低減や労働力不足対応（農業者一人当たり作付面積拡大）の面で貢献できると考えられる。また、他産業や先端技術（ICT やロボット技術等）に関連する知見獲得・人材育成は、ロボット技術の効果的な導入活用において重要であると考えられる。一方、稲作法人経営の経営条件によっては、ロボット技術の導入活用のみでは全面的な稲作課題の解決には至らないと考えられる。したがって、稲作法人経営において直面する諸課題の解決を図る上では、技能向上・人材育成の実施が、ロボット技術の導入活用に際しても重要であることが示唆される。具体的には、稲作法人経営は、経営条件（技能水準やリスク選好、知見等）とロボット技術の性能・導入経費等を勘案し技術導入活用計画を検討すると共に、稲作主要作業の技能向上や他産業・先端技術に関連する知見獲得に資する人材育成計画を検討・実施することが重要と考えられる。

第3節 今後の課題

本研究の今後の課題は以下の三点である。

一点目は、技能に着目した分析（第3章や第5章）において、技能水準が影響する内容・

項目を条件設定に追加して分析することである。本論文では、稲作課題解決へのアプローチとして稲作主要作業の作業能率（省力化）に関連する技能に着目した。しかし、技能は稲作主要作業の作業能率以外の側面にも影響し、稲作課題解決に貢献する可能性が考えられる。例えば、「水見半作」といわれる水管理の技能は水稻の収量や品質（販売価格）等に影響し、技能向上による単収増加は玄米 1kg 当たり経営費の更なる低減にも繋がることから考えられる。また、その際には、稲作主要作業に直接影響を及ぼすと考えられる作業リスクに加え、気象条件等に起因する収量・収益変動リスクも考慮した数理計画モデルでの分析も重要と考えられる。例えば、FVS-FAPS では複数年次の収支データに基づいた数理計画モデルの構築もでき、収量や品質（販売価格）の年次変動を考慮して技能向上効果の分析が可能である。

二点目は、一点目と関連し、水管理の自動化・ロボット技術に関する導入効果（第4～5章）や導入活用要因（第6章）について、追加的な分析の余地があると考えられる。第4～5章では、前述のように水管理用ロボットの省力化効果のみに着目した場合、費用対効果が得られないことが明らかになった。しかし、水管理用ロボットによる緻密な水管理が収量向上に貢献する効果も考えられるため、この点も踏まえた導入効果を分析する必要もあると考えられる。また、第6章では、水管理自動化技術の導入活用要因について、ICT等の導入活用要因に関する既存研究から想定された要因では有意な結果が得られなかった。これは水管理自動化技術が他作業に関する自動化・ロボット技術と特性（分割可能性や価格帯、対象作業、地域の水利条件の影響等）が異なることが一因と考えられた。そのため、水管理自動化技術の現在の導入活用状況を規定する固有の要因について、探索的な分析が求められる。

三点目は、将来的なロボット技術の導入効果（第4～5章）について、ロボット技術の今後の研究開発や関連制度の動向を踏まえて、継続的な分析・検証することが重要と考えられる。具体的には、第4～5章では、技術導入活用・開発指針の提示を視野に、ロボット技術や技能水準別の作業能率について仮想的な前提のもとで、将来的なロボット技術の導入効果の事前評価を行った。しかし、将来的にはロボット技術の実証データ（導入・運用・維持に係る費用含む）を用いた中間評価や、同一事例内の技能水準別の実測データを用いて、ロボット技術の導入効果を引き続き分析・検証することが求められる。その際に、ロボット技術の運用方法や関連制度の確立・制定等、経営を取り巻く諸要因の変化も予想されるため、これらも適宜反映することが必要と考えられる。

引用文献

- [1] 阿部健一郎（1993）：「農業経営と農業機械」、武井昭（編著）『現代の農業経営と技術』、農林統計協会、東京、pp.71-113.
- [2] Agresti, A. (2013): “Categorical Data Analysis Third Edition,” A John Wiley & Sons, Hoboken, 714pp.
- [3] 浅井悟・山口誠之（1998）：「農業経営者の意識にみる新技術導入の動機と規定要因—水稻病害抵抗性品種対象に一」、『農業経営研究』、36（1）、pp.1-13.
- [4] 馬場研太・南石晃明・長命洋佑（2019）：「大規模稲作経営における農作業自動化システムの導入効果」、『農業情報学会 2019 年度年次大会講演要旨集』、pp.132-133.
- [5] 馬場研太・南石晃明・長命洋佑（2020）：「稲作スマート農業の経営的評価—最適営農計画モデルによる農業用ロボットの導入効果分析—」、『農業情報学会 2020 年度年次大会講演要旨集』、pp.140-141.
- [6] 馬場研太・南石晃明・長命洋佑（2022）：「農業用ロボットが先進大規模稲作法人経営に及ぼす影響—作業リスクおよびリスク選好を考慮した数理計画分析—」、『九州大学大学院農学研究院学芸雑誌』、77（1）、pp.7-39.
- [7] BABA Kenta, Teruaki Nanseki and Yoshihiro Uenishi (2023): “Factors Affecting Future Intention to Utilize Robotic and Automation Technology in Japanese Rice Corporation: An Analysis of Nationwide Questionnaire Survey,” The 11th ASAE International Conference. (to be presented)
- [8] Bucci, G., D. Bentivoglio and A. Finco (2019): “Factors affecting ICT adoption in Agriculture: a case study in Italy,” Quality-Access to Success, 20(S2), pp.122-129.
- [9] 茅根敦夫・木村伸男（2009）：「成長事例にみる移植水稻作の収益性と生産性の関係—多数臨時雇用利用段階を経た企業経営事例について—」、『農業経営研究』、47（2）、pp.79-84.
- [10] 中国地域創造研究センター（編）（2019）：『中国地域におけるスマート農業のあり方に関する調査 報告書』、中国地域創造研究センター、広島、195pp.
- [11] FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2021): Climate-

- Smart Agriculture, < <http://www.fao.org/climate-smart-agriculture/en/> > , accessed 20 September 2021.
- [12] Farmers Network (2020) : 農業資材のご紹介、<<http://farmersnetwork.jp/>>、2020 年 2 月 1 日参照.
- [13] Feder, G., R. E. Just and D. Zilberman (1985): “Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: A Survey,” *Economic Development and Cultural Change*, 33(2):255–298.
- [14] 藤井吉隆・南石晃明 (2014) : 「先進稲作経営における熟練ノウハウと ICT を活用した能力養成」、南石晃明・飯國芳明・土田志郎 (編著)、『農業革新と人材育成システム—国際比較と次世代日本農業への含意—』、農林統計出版、東京、pp.335–364.
- [15] 福原悠平・福原昭一・長命洋佑・南石晃明 (2016) : 「近畿地域 150ha 稲作経営の戦略と革新—フクハラファームを事例として—」、南石晃明・長命洋佑・松江勇次 (編著)、『TPP 時代の稲作経営革新とスマート農業—営農技術パッケージと ICT 活用—』、養賢堂、東京、pp.40–55.
- [16] Hardaker, J.B., G. Lien, J. R. Anderson and R. B. M. Huirne (2015): “Coping with Risk in Agriculture, 3rd Edition Applied Decision Analysis,” CAB International, UK, 276pp.
- [17] 堀内久太郎 (2001) : 「地域農業の展開と技術研究の役割—技術開発を中心に—」、『農林業問題研究』、141、pp.12–17.
- [18] 茨城県 (2012) : 水稻・麦・大豆の不耕起播種栽培マニュアル、<https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/noken/documents/fukouki_manual_2012_01.pdf>、2020 年 2 月 1 日参照.
- [19] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2017) : 気候変動 2014 統合報告書本文、文科省・経済産業省・気象庁・環境省 (訳)、<<https://www.env.go.jp/content/900442298.pdf>>、2022 年 7 月 29 日参照.
- [20] 石戸修 (2016) : 「農業法人経営における ICT 活用の決定要因」、『アジア太平洋研究科論集』、32、pp.51–66.
- [21] 石黒格 (編著) (2014) : 『改訂 Stata による社会調査データの分析—入門から応用まで—』、北大路書房、京都、209pp.

- [22] 川崎賢太郎（2010）：「水稻直播栽培技術の採択要因とその効果」、『農業経済研究』、82（1）、pp.11-22.
- [23] 衣笠智子・衛藤彬史・安田公治・富澤圭（2021）：「農家の農業経営への IT 利用の決定要因—兵庫県養父市の農家データを用いた計量研究—」、『農林業問題研究』、57（2）、pp.46-52.
- [24] 気象庁（2016）：過去の気象データ・ダウンロード、<<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>>、2016 年 10 月 1 日参照.
- [25] 気象庁（2020）：過去の気象データ・ダウンロード、<<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>>、2020 年 2 月 1 日参照.
- [26] 北原保雄（編）（2011）：『明鏡国語辞典 第二版』、大修館書店、東京、1937pp.
- [27] 小池和男・中馬宏之・太田聡一（2001）：『ものの造りの技能』、東洋経済新報社、東京、346pp.
- [28] 国際大学 GLOCOM（国際大学グローバル・コミュニケーション・センター）（2019）：『農業への IT 導入障壁の特定と IT 化促進施策・人材供給施策の提案』、国際大学 GLOCOM、東京、147pp.
- [29] クボタ（2020）：鉄コーティング直播栽培ガイド Ver.8、<https://agriculture.kubota.co.jp/product/taueki/tetsuko_mippa/items/tetsuko_guide_vol08.pdf>、2020 年 2 月 1 日参照.
- [30] 栗原伸一（2011）：『入門統計学—検定から多変量解析・実験計画法まで—』、オーム社、東京、319pp.
- [31] ルハタイオパット プウオンケオ・孫雯莉・小林諒・大石亘・松下秀介（2016）：「農業経営学分野における数理計画法を援用した研究の動向—水田・畑作部門を主な対象として—」、『筑波大学農林社会経済研究』、32、pp.68-90.
- [32] 松倉誠一・南石晃明・藤井吉隆・佐藤正衛・長命洋佑・宮住昌志（2015）：「大規模稲作経営における技術・技能向上および規模拡大のコスト低減効果—FAPS-DB を用いたシミュレーション分析—」、『農業情報研究』、24（2）、pp.35-45.
- [33] 松本浩一（2016a）：「水田作経営における農作業ロボットの導入可能性と条件」、『関東東海北陸農業経営研究』、106、pp.65-70.
- [34] 松本浩一（2016b）：「「経営展望」の実現に向けた線形計画モデルによる技術の経営的評価の到達点」、『関東東海北陸農業経営研究』、106、pp.29-39.

- [35] 松本浩一（2019）：「スマート農業技術の経営的評価手法の評価と展望—水田作経営を中心に—」、『農研機構研究報告』、1、pp.33–37.
- [36] 松本浩一（2020）：「農業ロボットによる協調作業が与える大規模水田作経営への影響」、『関東東海北陸農業経営研究』、110、pp.59–64.
- [37] 松本浩一・梅本雅（2013）：「大規模水田作経営における農作業ロボット導入の効果」、『関東東海農業経営研究』、103、pp.65–71.
- [38] 松本浩一・山本淳子・関野幸二（2004）：「機械・施設投資を伴う新技術の導入以降の規定要因—水稻ロングマット水耕苗の育苗・移植技術を対象にして—」、『農業経営研究』、42（2）、pp.35–40.
- [39] 松本雄一（2003）：『組織と技能—技能伝承の組織論—』、白桃書房、東京、262 pp.
- [40] 松村明（編）（2019）：『大辞林 第二版』、三省堂、東京、2784pp.
- [41] Mi, J., T. Nanseki, Y. Chomei, Y. Uenishi and L. T. Nguyen (2021): “Determinants of ICT and smart farming technology adoption by agricultural corporations in Japan,” The 10th ASAE International Conference Conference Proceedings, pp.74–94.
- [42] Mi J., T. Nanseki, Y. Chomei, Y. Uenishi and L. T. Nguyen (2022): “Determinants of ICT and Smart Farming Technology Adoption by Agricultural Corporations in Japan,” Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 67 (2), pp.249–262.
- [43] 宮住昌志・南石晃明・長命洋佑・松倉誠一（2014）：「営農可視化システム FVS による農作業技術・技能の定量的分析—田植え技術・技能の作業者間比較—」、『農業情報研究』、23（4）、pp.175–186.
- [44] 門間敏幸（2011）：「知識創造型農業経営組織におけるナレッジマネジメントの意義と研究の方向」、日本農業経営学会（編）、『知識創造型農業経営組織のナレッジマネジメント』、農林統計出版、東京、pp.1–41.
- [45] 村川栄一（2002）：『熟練技能の継承と科学技術』、大阪大学出版会、大阪、pp. 86.
- [46] 武藤幸雄（2017）：「集落営農における最適な人的投資に関する経済分析」、『農業経済研究』、89（3）、pp.241–246.

- [47] 内閣府（2018）：戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）次世代農林水産業創造技術（アグリイノベーション創出）研究開発計画、＜https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/9_nougyou.pdf＞、2022 年 12 月 15 日参照。
- [48] 南石晃明（1995）：「確率的計画法」、農林水産省農業研究センター（編）、『農業技術の経営評価マニュアル—その方法と実際—』、農林水産省農業研究センター、茨城、pp.36–37.
- [49] 南石晃明（1998a）：「営農技術体系評価・計画システム FAPS97 利用方法」、『東北農業試験場研究資料』、21、pp.1–199.
- [50] 南石晃明（1998b）：「数理計画モデルによる経営支援システムの開発方向と課題」、『農業経営研究』、36（1）、pp.23–31.
- [51] 南石晃明（2000）：「不確実性下の農業技術評価モデルと支援システム」、『数理解析研究所講究録』、1132、pp.111–115.
- [52] 南石晃明（2002）：「営農技術体系評価・計画システム FAPS の開発」、『農業情報研究』、11（2）、pp.141–159.
- [53] 南石晃明（2003）：「営農技術体系評価・計画のための数理計画モデル自動生成手法」、『農業情報研究』、12（4）、pp.275–298.
- [54] 南石晃明（2011）：『農業におけるリスクと情報のマネジメント』、農林統計出版、東京、448pp.
- [55] 南石晃明（2015a）：「技能の概念と農業技能」、南石晃明・藤井吉隆（編著）、「農業新時代の技術・技能伝承—ICT による営農可視化と人材育成—」、農林統計出版、東京、pp.17–38.
- [56] 南石晃明（2015b）：「農業技術・ノウハウ・技能の可視化と伝承支援—ICT による営農可視化—」、南石晃明・藤井吉隆（編著）、『農業新時代の技術・技能伝承—ICT による営農可視化と人材育成—』、農林統計出版、東京、pp.39–64.
- [57] 南石晃明（2015c）：「稲作経営における生産コスト低減の可能性と経営戦略」、伊東正一（編著）、『世界のジャポニカ米市場と日本産米の競争力』、農林統計出版、東京、pp.37–54.
- [58] 南石晃明（2016）：「大規模稲作経営革新と技術パッケージ—ICT・生産技術・経営技術の融合—」、南石晃明・長命洋佑・松江勇次（編著）、『TPP 時代の稲作経営革新とスマート農業—営農技術パッケージと ICT 活用—』、養賢堂、東京、pp.

2-22.

- [59] 南石晃明（2019）：「農業生産のスマート化：概論」、農業情報学会（編）、『新スマート農業—進化する農業情報利用—』、農林統計出版、東京、pp.76-77.
- [60] 南石晃明（2020a）：「農家目線の「農匠自動給水機」と稲作水管理—開水路用自動給水機の特徴と費用対効果—」、『機械化農業』、3233、pp.17-21.
- [61] 南石晃明（2020b）：「米生産コストの国際比較と国産米の競争力向上方策—日本・イタリア・アメリカを対象に—」、伊東正一・松江勇次（編著）、『世界におけるジャポニカ米の流通、食味及び展望』、養賢堂、東京、pp.18-45.
- [62] 南石晃明（2021）：『ファクトデータでみる農業法人：経営者プロフィール、ビジネスの現状と課題、イノベーション』、農林統計出版、東京、106pp.
- [63] 南石晃明（2022）：「イノベーションとデジタル農業」、南石晃明（編著）、『デジタル・ゲノム革命時代の農業イノベーション』、農林統計出版、東京、pp.19-47.
- [64] 南石晃明・馬場研太・長命洋佑（2019）：「稲作経営におけるロボット農機の規模拡大効果—FAPSを用いた最適営農計画による分析—」、南石晃明（編著）、『稲作スマート農業の実践と次世代経営の展望』、養賢堂、東京、pp.234-238.
- [65] 南石晃明・藤井吉隆（2015a）：「農業技術・技能継承の問題背景と課題」、南石晃明・藤井吉隆（編著）、『農業新時代の技術・技能伝承—ICTによる営農可視化と人材育成—』、農林統計出版、東京、pp.1-15.
- [66] 南石晃明・藤井吉隆（編著）（2015b）：『農業新時代の技術・技能伝承—ICTによる営農可視化と人材育成—』、農林統計出版、東京、251pp.
- [67] 南石晃明・竹内重吉・篠崎悠里（2013）：「農業法人経営における事業展開、ICT活用および人材育成—全国アンケート調査分析—」、『農業情報研究』、22（3）、pp.159-173.
- [68] NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）（2014）：NEDO ロボット白書2014、<https://www.nedo.go.jp/library/robot_hakusyo.html>、2021年4月26日参照.
- [69] 日本農業法人協会（2021）：2020年版 農業法人白書—2020年農業法人実態調査より—、<<https://hojin.or.jp/wp-content/uploads/files/hakusho2020.pdf>>、2022年6月13日参照.

- [70] 日本農業経営学会農業経営学術用語辞典編纂委員会（編）（2007）：『農業経営学術用語辞典』、農林統計協会、東京、298pp.
- [71] 日本農業システム（2020）：日本農業システムオンラインショップ、＜<https://www.nou.co.jp/shop/default.aspx>＞、2020 年 2 月参照.
- [72] 日本国語大辞典第二版編集委員会・小学館国語辞典編集部（編）（2002）：『日本国語大辞典 第二版 第十三巻』、小学館、東京、1421pp.
- [73] Nileworks（2021）：Nile-T20 パンフレット、＜https://www.nileworks.co.jp/images/product/Nile-T20_211224.pdf＞、2022 年 6 月 5 日参照.
- [74] 西村博行（1983）：「個別経営の変貌と普及・営農指導事業」、『農林業問題研究』、19（3）、pp.98–102.
- [75] 西山慶彦・新谷元嗣・川口大司・奥井亮（2019）：『計量経済学』、有斐閣、東京、726pp.
- [76] 野口伸（2019a）：「ロボティクス」、農業情報学会（編）、『新スマート農業—進化する農業情報利用—』、農林統計出版、東京、pp.72–73.
- [77] 野口伸（2019b）：第 51 回 世界情報社会・電気通信日のつどい 記念講演 ICT とこれからの農業、＜https://www.ituaj.jp/wp-content/uploads/2019/05/WTISD19_koen_noguchi-sensei.pdf＞、2020 年 11 月 29 日参照.
- [78] 農業情報学会（編）（2019）：『新スマート農業—進化する農業情報利用—』、農林統計出版、東京、500pp.
- [79] 農業の「働き方改革」検討会（2018）：農業の「働き方改革」経営者向けガイド、＜<https://www.maff.go.jp/j/study/work/attach/pdf/index-19.pdf>＞、2022 年 11 月 28 日.
- [80] 農研機構（農業・食品産業技術総合研究機構）（2017）：農業のスマート化を実現する革新的な生産システム/水田農業 ポスター、＜<http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/brain/sip/files/suidennogyo.pdf>＞、2020 年 11 月 28 日参照.
- [81] 農研機構（農業・食品産業技術総合研究機構）（2019）：戦略的イノベーション創造プログラム 次世代農林水産業創造技術 成果トピックス集、＜http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/brain/sip/sip1_topix_combine.pdf＞、2020 年 11 月 28 日参照.
- [82] 農林省農事試験場作業技術部機械化経営研究室（1968）：「水田作機械化標準作業

- 体系の設計と経済的評価に関する研究」、『機械化経営資料』、4、275pp.
- [83] 農林水産技術会議事務局（2020）：スマート農業実証プロジェクト 現場の声、<https://www.affrc.maff.go.jp/docs/smart_agri_pro/jissho_seika/r1/r1_seika_1.htm>、2022 年 8 月 26 日参照.
- [84] 農林水産省（2016a）：コメの生産コストに係る日韓比較、<<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/jjkaigou/dai33/sankou2.pdf>>、2022 年 12 月 15 日参照.
- [85] 農林水産省（2016b）：農業機械の安全性確保の自動化レベル、<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/g_smart_nougyo/pdf/04_jidouka.pdf>、2020 年 1 月 5 日参照.
- [86] 農林水産省（2018a）：平成 29 年度 食料・農業・農村白書、<https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12232574/www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h29/pdf/zenbun.pdf>、2022 年 11 月 27 日参照.
- [87] 農林水産省（2018b）：農林水産省気候変動適応計画（平成 30 年改定）、<<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/attach/pdf/tekioukeikaku-10.pdf>>、2020 年 8 月 6 日参照.
- [88] 農林水産省（2020a）：スマート農業技術カタログ（水稻・畑作）、<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/smart_agri_technology/smartagri_catalog_suitou.html>、2021 年 2 月 8 日参照.
- [89] 農林水産省（2020b）：令和元年度 食料・農業・農村白書、<https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r1/pdf/zentaiban.pdf>、2022 年 11 月 27 日参照.
- [90] 農林水産省（2020c）：規制改革推進会議農林水産 WG 説明資料、<<https://www.8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/kisei/meeting/wg/nousui/20200131/200131nousui07.pdf>>、2022 年 11 月 27 日参照.
- [91] 農林水産省（2020d）：スマート農業推進フォーラム 2020、<<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/forum/R2smaforum/index.html>>、2022 年 3 月 16 日参照.
- [92] 農林水産省（2020e）：農業新技術 製品・サービス集、<<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/products.html>>、2022 年 5 月 27 日参照.
- [93] 農林水産省（2021a）：農業を担う人材の育成・確保に向けて、<https://www.jasso.go.jp/gakusei/career/event/guidance/_icsFiles/afieldfile/2021/07/09/nourin.pdf>、2022 年 12 月 12 日参照.

- [94] 農林水産省（2021b）：米をめぐる関係資料、＜<https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/syokuryo/210226/attach/pdf/index-36.pdf>＞、2022 年 12 月 15 日参照.
- [95] 農林水産省（2022a）：スマート農業の展開について、＜<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/attach/pdf/index-26.pdf>＞、2022 年 4 月 12 日参照.
- [96] 農林水産省（2022b）：スマート農業技術カタログ、＜https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/smart_agri_technology/smartagri_catalog.html＞、2022 年 1 月 29 日参照.
- [97] 農林水産省・農研機構（農業・食品産業技術総合研究機構）（2020）：スマート農業実証プロジェクトによる水田作の実証成果（中間報告）、＜https://www.affrc.maff.go.jp/docs/smart_agri_pro/pdf/jissho_data/r1/chukan_hokoku_suidensaku.pdf＞、2020 年 11 月 29 日参照.
- [98] 農林水産省農業研究センター（編）（1995）：『農業技術の経営評価マニュアルーその方法と実際ー』、農林水産省 農業研究センター、茨城、161pp.
- [99] 緒方裕大・南石晃明・長命洋佑（2019）：「農業法人における ICT 費用対効果の評価に関する因子分析」、『農業情報研究』、28（1）、pp.1–12.
- [100] 大石亘（2017）：「営農計画モデルの構築と計算プログラム」、『九州沖縄農研農業経営研究資料』、15、pp.41–53.
- [101] 大崎和二（1977）：「農業機械一得する入れ方、損する入れ方」、大崎和二・下田博之・森泉昭治（編著）、『農業機械を使いこなす法』、農山漁村文化協会、東京、pp.11–39.
- [102] ロボット政策研究会（2006）：ロボット政策研究会報告書、＜<https://www.jara.jp/various/report/img/robot-houkokusho-set.pdf>＞、2021 年 4 月 26 日参照.
- [103] 佐野紳也（1990）：『質的選択分析ー理論と応用ー』、三菱経済研究所、東京、201pp.
- [104] 生物系特定産業技術研究支援センター（2021）：スマートバイオ産業・農業基盤技術 中間成果と社会実装イメージの紹介、＜https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/sip/sip2_pamphlet_202103.pdf＞、2022 年 11 月 28 日参照.
- [105] Sen, A. and M. Srivastava (1990): “Regression Analysis: Theory, Methods, and Applications,” Springer Science+Business Media, New York, 348pp.
- [106] 滋賀県農政水産部（2012）：『農業経営ハンドブック』、滋賀県農政水産部、滋賀、

446pp.

- [107] 新村出（編）（2018）：『広辞苑 第七版』、岩波書店、東京、3188pp.
- [108] 塩谷幸治・関正裕・加藤仁（2019）：「水田作経営における後付型自動運転補助装置の導入条件解明の試み—線形計画法利用による ICT 導入の費用対効果解明へのアプローチ」、『関東東海北陸農業経営研究』、109、pp.23–32.
- [109] Studenmund, A. H.（2017）：『計量経済学の使い方 上 [基礎編] —実践的ガイドー』、高橋青天（監訳）、ミネルヴァ書房、京都、247pp.
- [110] Studenmund, A. H.（2018）：『計量経済学の使い方 下 [応用編] —実践的ガイドー』、高橋青天（監訳）、ミネルヴァ書房、京都、298pp.
- [111] 武井昭（1993）：「農業技術の評価」、武井昭（編著）、『現代の農業経営と技術』、農林統計協会、東京、pp.1–46.
- [112] 竹内啓・石井恵一・稲垣宜生・大橋靖雄・柴田里程・渋谷政昭・竹村彰通・藤井光昭・松田芳郎・溝口敏行・森田誠・柳井晴夫・吉岡完治・吉村功（編著）（1989）：『統計学辞典』、東洋経済新報社、東京、1185pp.
- [113] 竹内重吉・南石晃明（2013）：「農業法人経営における ICT 活用とその効果に関する要因分析」、『九州大学大学院農学研究学院学芸雑誌』、68（2）、pp.49–57.
- [114] 竹山孝治・山本善久（2013）：「集落営農組織における経営発展度と地域貢献度の評価システムに関する研究」、『島根県農業技術センター研究報告』、41、pp.1–18.
- [115] 瀧口徹（2005）：「歯科疫学統計 第3報 重回帰分析、多重ロジスティック回帰分析モデルの適合度判定指標の解釈—SPSS、STATA の利用に際して—」、『ヘルスサイエンス・ヘルスケア』、5（1）、pp.35–49.
- [116] 上西良廣（2022）：『持続可能な農業に向けた農法普及—「生きもののブランド米」の技術と導入行動—』、農林統計出版、東京、153pp.
- [117] 上西良廣・南石晃明・馬場研太（2022）：「農業法人の「強み」「弱み」とスマート農業技術の将来の導入意向に関する分析—稲作経営を対象として—」、『農業情報学会 2022 年度年次大会 講演要旨集』、pp.127–128.
- [118] 梅本雅（1997）：「農業技術の経営的評価—そのねらいと評価基準—」、『技術と普及』、34（1）、pp.32–35.
- [119] 梅本雅・山本淳子（2010）：「農作業ナレッジの継承に向けた課題と方法」、『農

- 業経営研究』、48（1）、pp.37–42.
- [120] 海野邦昭（1999）：『次世代への候と熟練技能の継承 技能が消えれば、国が減びる』、アグネ承風社、東京、172pp.
- [121] Vittinghoff, E. and C. E. McCulloch (2007): “Relaxing the Rule of Ten Events per Variable in Logistic and Cox Regression,” *American Journal of Epidemiology*, 165(6), pp.710–718.
- [122] 渡辺兵力（1976）：『農業技術論』、龍溪書舎、東京、215pp.
- [123] 八木宏典（2019a）：「水田作経営の経営収支をめぐる諸問題—営農類型別経営統計の分析—」、八木宏典・李哉洵（編著）、『変貌する水田農業の課題』、日本経済評論社、東京、pp.29–63.
- [124] 八木宏典（2019b）：「水田農業のあり方をめぐる諸問題」、八木宏典・李哉洵（編著）、『変貌する水田農業の課題』、日本経済評論社、東京、pp.277–305.
- [125] 八木宏典・安武正史（2019）：「企業形態別・規模別にみた大規模経営の特徴—2015年農林業センサスの分析—」、八木宏典・李哉洵（編著）、『変貌する水田農業の課題』、日本経済評論社、東京、pp.64–101.
- [126] 矢口克也（2012）：「農業経営の規模拡大と農地集積をめぐる諸課題—TPP 問題に寄せて—」、『調査と情報—ISSUE BRIEF—』、No.737、pp.1–12.
- [127] 山田祐一（2018）：非熟練者 1 人でも高速・高精度な田植えが可能な自動運転田植機、<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/4th_laboratory/iam/2018/18_015.html>、2021 年 2 月 28 日.
- [128] 山本泰士・穂西克弥（2016）：「クラウドロボティクス」、『知的システムデザイン研究室 第 169 回月例発表会』、pp.7–8、<<http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/monthly/monthly2016/mlm169/tyamamoto.pdf>>、2022 年 12 月 18 日参照.
- [129] 横内絢子（2007）：「農業経営における天候リスクマネジメント技術導入手法」、『農業情報研究』、16（4）、pp.226–264.
- [130] 吉原雅彦・一戸賢一・竹内誠・中島一成・今克秀（1984）：「屏風山砂丘地における畑作営農技術に関する研究（2）：中核農家の営農指標と経営改善」、『青森県農業試験場研究報告』、28、pp.143–159.
- [131] 吉川弘之（1992）：「先端科学技術におけるパラダイム変化」、大越孝敬（編）、『先端科学技術とは何か』、朝倉書店、東京、pp.40–64.

関連する研究業績一覧

本論文に関連する研究業績の一覧を以下に示す。また、本論文を構成する各章の初出論文等はその旨を付記する。なお、各章において、一部データ・モデルの精緻化、構成の見直し等、加筆・修正を行っている。

原著論文（査読付き）

1. 馬場研太・南石晃明・長命洋佑：「稲作法人経営における作業効率向上のコスト低減効果—FVS-FAPS を用いた最適営農計画による分析—」、『農業情報研究』、27（3）、pp.53–63.

2018 年 10 月 1 日（doi : <https://doi.org/10.3173/air.27.53>）【本論文第 3 章】

2. 馬場研太・南石晃明・長命洋佑・上西良廣：「稲作法人経営における自動化・ロボット技術の活用要因の解明」、『農業情報研究』、32（1）.

2022 年 10 月 18 日掲載決定、2023 年 4 月 1 日公表予定【本論文第 6 章】

紀要

1. 馬場研太・南石晃明・長命洋佑：「農業用ロボットが先進大規模稲作法人経営に及ぼす影響：作業リスクおよびリスク選好を考慮した数理計画分析」、『九州大学大学院農学研究院学芸雑誌』、77（1）、pp.7–39.

2022 年 2 月 25 日（doi : <https://doi.org/10.15017/4772420>）【本論文第 4 章】

書籍（分担執筆）

1. 馬場研太・南石晃明・長命洋佑：「第 6 章 8. FAPS による気象変動を考慮した最適作付計画」、南石晃明（編著）、『稲作スマート農業の実践と次世代経営の展望』、養賢堂、pp.212–216.

2019 年 2 月 21 日

2. 馬場研太・南石晃明・長命洋佑：「第 7 章 3. 稲作経営における機械操作技能向上のコスト削減効果—FAPS による最適営農計画分析—」、南石晃明（編著）、『稲作スマート農業の実践と次世代経営の展望』、養賢堂、pp.230–234.

2019 年 2 月 21 日

3. 南石晃明・馬場研太・長命洋佑：「第 7 章 4. 稲作経営におけるロボット農機の規模拡大効果—FAPS を用いた最適農計画による分析—」、南石晃明（編著）、『稲作スマート農業の実践と次世代経営の展望』、養賢堂、pp.234–238.

2019 年 2 月 21 日

4. 馬場研太・南石晃明・長命洋佑：「第 9 章 稲作経営における農業用ロボットの導入効果と技能」、南石晃明（編著）、『デジタル・ゲノム革命時代の農業イノベーション』、農林統計出版、pp.183–208.

2022 年 3 月 31 日【本論文第 5 章】

学会発表（※丸印「○」は報告者を示している）

1. ○馬場研太・南石晃明・長命洋佑：「稲作法人経営における作業効率向上のコスト低減効果—FAPS を用いた最適農計画による分析—」、農業情報学会 2017 年度年次大会オーガナイズドセッション、東京、2017 年.
2. 南石晃明・○馬場研太・長命洋佑：「ロボット農機の稲作経営規模拡大効果—FAPS を用いた最適農計画による分析—」、農業情報学会 2018 年度年次大会オーガナイズドセッション、東京、2018 年.
3. ○馬場研太・南石晃明・長命洋佑：「大規模稲作経営における農作業自動化システムの導入効果」、農業情報学会 2019 年度年次大会個別口頭報告、東京、2019 年.
4. ○馬場研太・南石晃明・長命洋佑・横田修一：「稲作スマート農業の経営的評価—最適農計画モデルによる農業用ロボットの導入効果分析—」、農業情報学会 2020 年度年次大会個別口頭報告、ネット大会、2020 年.
5. ○馬場研太・南石晃明・長命洋佑：「農業用ロボットが稲作法人経営の生産コストに及ぼす影響—作業リスクを考慮した数理計画法による経営的評価—」、日本農業経済学会 2020 年度年次大会個別口頭報告、ネット大会、2021 年.
6. ○馬場研太・南石晃明・長命洋佑：「農業用ロボットの技能代替効果に関する経営的評価—水稻単作大規模法人経営を事例とした数理計画分析—」、日本農業情報学会 2021 年度年次大会オーガナイズドセッション、ネット大会、2021 年.
7. ○馬場研太：「農業用ロボットが先進大規模稲作法人経営の生産コストに及ぼす影響—作業リスクを考慮した数理計画法による経営的評価—」、令和 3 年度関東東海

- 北陸農業経営研究会春季研究会、ネット大会、2021 年.
8. ○馬場研太：「大規模稲作法人経営モデルを用いた技能の経営的評価—経営的評価の事例紹介と問題意識—」、令和 3 年度九州沖縄農業試験研究推進会議フードシステム推進部会経営研究会、ネット大会、2021 年.
 9. ○馬場研太・南石晃明・長命洋佑・上西良廣：「稲作法人経営におけるロボット技術活用に関するアンケート分析—設立経緯や ICT・情報マネジメントに着目した予備的分析—」、農業情報学会 2022 年度年次大会口頭報告、ネット・現地会場（福岡）、2022 年.
 10. ○馬場研太・南石晃明・上西良廣：「稲作法人経営におけるスマート農業技術の活用要因と導入効果」、日本農業経営学会 2022 年度年次大会分科会、ネット大会、2022 年.
 11. ○BABA Kenta, Teruaki Nanseki and Yoshihiro Uenishi. Factors Affecting Future Intention to Utilize Robotic and Automation Technology in Japanese Rice Corporation: An Analysis of Nationwide Questionnaire Survey. The 11th ASAE International Conference, March 2023(to be presented), Tokyo.

謝辞

本論文の執筆にあたり、ご指導、ご支援を賜りました多くの方々に、ここに記して感謝を申し上げます。

指導教員であり、主査である南石晃明教授には、学部時代から7年以上の間、課題設定から本論文の執筆に至るまで、数多くのご指導を賜りました。特に、ご教授いただいた研究姿勢は、本論文の基礎となるものであり、今後の研究活動においても時折振り返り、頂戴した言葉を噛み締めながら精進していきたく存じます。

広島大学の長命洋佑准教授（元・九州大学助教）には、九州大学所属時から多方面でお世話になり、広島大学に移られてからも変わらぬご指導ご鞭撻をいただきました。頂戴した助言は数知れず、なかなか要領を得なかった私の研究活動を支えていただきました。

上西良廣助教には、統計分析や博士論文の基本的な部分から懇切丁寧にご指導いただきました。また研究活動においてもきめ細かいサポートをいただきました。

副査をお引き受け頂いた前田幸嗣教授、磯田宏教授をはじめ、農業資源経済学部門の教員の先生方には授業等も含めて多くのご指導を賜りました。また、本論文を構成する各原著論文に大変貴重なご指摘を頂いた査読者の方々、多くの時間をゼミ室で共に過ごし議論した農業経営学研究室の皆様、社会人学生として大学で研究を進めることに格別のご配慮をいただいた農業・食品産業技術総合研究機構の皆様方に厚くお礼を申し上げます。

加えて、本論文の研究にご協力いただいた稲作法人経営の方々にも感謝申し上げます。特に、事例経営の2社には、本研究に理解を示していただき、貴重な経営データの提供のみならず、分析に関する貴重なご示唆や議論の機会をいただきました。

このように本論文は多くの方々のお陰で完成に至ることができました。改めて深く感謝申し上げます。

最後に、ここまで支えてくれた家族、妻・明里に感謝の意を記します。

2023 年 3 月

馬場 研太

付表

付表 1 RT 導入シナリオ別の最適営農計画—熟練者（実績）・慎重シナリオ—

作業リスク選好		慎重											
RT導入の有無		未導入		ロボット田植機 個別導入後		ロボットコンバイン 個別導入後		ロボットトラクタ 個別導入後		水管理用ロボット 個別導入後		全ての RT導入後	
RTが行 う作業	移植、湛水直播	○											○
	収穫	○											○
	耕起耕転、土壌改良（整地）、 代かき、乾田直播	○											○
	（注1） 水管理	○											○
従事者数低減の有無		維持 (基準)	低減 (参考)	維持	低減	維持	低減	維持	低減	維持	低減	維持	低減
技術 体系 系列 作付 面積 〔ha〕	一番星・特別栽培・4月中旬	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
	一番星・特別栽培・4月下旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	あきたこまち・特別栽培・4月下旬	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1
	あきたこまち・特別栽培・5月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	コシヒカリ・特別栽培・5月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	コシヒカリ・特別栽培・5月中旬	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7
	コシヒカリ・特別栽培・5月下旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	コシヒカリ・有機栽培・5月上旬	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
	あきだわら・慣行栽培・5月下旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ミルキークイーン・特別栽培・5月下旬	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
	あさひの夢・特別栽培・6月上旬	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
	ゆめひたち・特別栽培・6月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ゆめひたち・特別栽培・6月中旬	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
	にじのきらめき・特別栽培・6月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ふわりもち・特別栽培・6月中旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	マンガツモチ・特別栽培・6月中旬	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
	マンガツモチ・特別栽培・6月下旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	あきだわら・乾田直播・4月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	にこまる・乾田直播・4月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	あきだわら・湛水直播・5月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	あきだわら・湛水直播・5月中旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	にこまる・湛水直播・5月上旬	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
最適作付面積（合計） 〔ha〕	82.6	82.6	82.6	82.6	82.6	82.6	82.6	82.6	82.6	82.6	82.6	82.6	82.6
	(-)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	(-)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)
1人当たり年間総労働時間 〔時間/人〕	1071.6	1205.5	1042.7	1173.0	1041.8	1172.0	887.9	998.9	1027.5	1156.0	785.1	883.2	
	(-)	(133.9)	(-28.9)	(101.4)	(-29.8)	(100.5)	(-183.7)	(-72.7)	(-44.1)	(84.4)	(-286.5)	(-188.3)	
	100.0%	112.5%	97.3%	109.5%	97.2%	109.4%	82.9%	93.2%	95.9%	107.9%	73.3%	82.4%	
	(-)	(12.5%)	(-2.7%)	(9.5%)	(-2.8%)	(9.4%)	(-17.1%)	(-6.8%)	(-4.1%)	(7.9%)	(-26.7%)	(-17.6%)	
経営 指標	売上高〔億円〕	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	経営費（RT費用除く）〔万円〕	6,465	6,465	6,419	6,419	6,417	6,417	6,172	6,172	6,395	6,395	6,008	6,008
	収益（RT費用除く）〔万円〕	4561.3	4561.3	4607.4	4607.4	4608.7	4608.7	4853.9	4853.9	4631.5	4631.5	5017.6	5017.6
	経営費 （RT市販価格試算値含む） 〔万円〕	-	-	6438.6～ 6467.2	6438.6～ 6467.2	6437.3～ 6437.3	6437.3～ 6437.3	6349.3～ 6389.3	6349.3～ 6389.3	6933.6～ 7252.1	6933.6～ 7252.1	6764.6～ 7151.7	6764.6～ 7151.7
	収益（RT市販価格試算値含む） 〔万円〕	-	-	4558.8～ 4587.4	4558.8～ 4587.4	4588.7～ 4588.7	4588.7～ 4588.7	4636.8～ 4676.8	4636.8～ 4676.8	3773.9～ 4092.5	3773.9～ 4092.5	3874.3～ 4261.4	3874.3～ 4261.4
	数 旬 作 多目的田植機：移植	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
	が 業 多目的田植機：湛水直播	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
発 遅 紙マルチ田植機：移植	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
	コンバイン：収穫	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
	トラクタ：耕起耕転	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
	トラクタ：土地改良（整地）	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
	トラクタ：代かき	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
	トラクタ：乾田直播	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
	（注3）	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20

資料：FVS・FAPS による計算結果をもとに筆者作成。

注1：各シナリオにおいて RT が行う作業を「○」で示す。

注2：表中、％は基準シナリオを 100%とした時の値である。また、括弧内は基準シナリオからの変化値（％の場合は変化率）を示す。「RT 費用除く」は RT の本体導入費や運用・維持費を計上していない。「RT 市販価格試算値含む」は RT 市販価格試算値を計上し、RT の運用・維持費は計上していない。収益は会社利益と役員報酬の合計である。

注3：過去 20 年間の降雨条件のうち、作業遅延・不能となる旬が 1 旬でも発生する年数を計上している。

付表 2 RT 導入シナリオ別の最適営農計画—熟練者（実績）・強気シナリオ—

作業リスク選好		強気											
RT導入の有無		未導入	ロボット田植機 個別導入後	ロボットコンバイン 個別導入後	ロボットトラクタ 個別導入後	水管理用ロボット 個別導入後	全ての RT導入後						
移植、湛水直播			○									○	
RTが行う作業	収穫 耕起耕耘、土壌改良（整地）、 代かき、乾田直播			○								○	
(注1)	水管理								○			○	
従事者数低減の有無		維持 (基準)	低減 (参考)	維持	低減	維持	低減	維持	低減	維持	低減	維持	低減
技術 体系 系別 作付 面積 〔ha〕	一番星・特別栽培・4月中旬	11.6	8.9	11.3	8.3	15.6	14.6	11.6	7.8	13.8	10.8	15.6	15.6
	一番星・特別栽培・4月下旬	20.0	17.0	20.0	18.0	1.8	11.7	20.0	18.6	13.3	20.0	0.0	16.0
	あきたこまち・特別栽培・4月下旬	0.0	3.0	0.0	2.0	18.1	8.3	0.0	1.4	6.7	0.0	20.0	4.0
	あきたこまち・特別栽培・5月上旬	2.3	0.0	2.2	0.0	2.3	0.2	2.3	0.0	2.3	1.6	2.3	2.3
	コシヒカリ・特別栽培・5月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	コシヒカリ・特別栽培・5月中旬	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
	コシヒカリ・特別栽培・5月下旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	コシヒカリ・有機栽培・5月上旬	15.3	14.8	15.3	15.0	15.3	15.3	15.3	14.6	15.3	15.3	15.3	15.3
	あきだわら・慣行栽培・5月下旬	0.0	4.3	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	ミルクイーン・特別栽培・5月下旬	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
	あさひの夢・特別栽培・6月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0
	ゆめひたち・特別栽培・6月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ゆめひたち・特別栽培・6月中旬	13.0	5.4	14.0	5.1	11.1	12.9	12.7	9.4	15.9	4.6	12.6	15.9
	にじのきらめき・特別栽培・6月上旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ふわりもち・特別栽培・6月中旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	マンダツモチ・特別栽培・6月中旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	マンダツモチ・特別栽培・6月下旬	10.3	11.8	11.6	14.0	6.4	0.0	10.2	15.4	11.5	11.9	11.7	4.3
	あきだわら・乾田直播・4月上旬	0.9	4.3	0.0	2.3	1.5	2.9	1.2	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0
	にこまる・乾田直播・4月上旬	16.5	13.5	13.9	9.1	21.4	22.9	16.8	6.4	14.2	13.3	13.7	18.8
	あきだわら・湛水直播・5月上旬	0.0	0.0	0.0	2.3	1.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	あきだわら・湛水直播・5月中旬	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	0.0	1.9	1.9	0.0	0.3	0.0	0.0
	にこまる・湛水直播・5月上旬	1.2	0.6	2.5	2.8	1.1	0.0	2.4	5.2	2.1	0.4	2.4	2.4
経営 指標 (注2)	最適作付面積（合計） 〔ha〕	128.3	120.5	127.8	120.1	133.1	124.0	129.6	120.3	130.3	124.4	135.3	129.8
		(-)	(-7.8)	(-0.4)	(-8.1)	(4.9)	(-4.2)	(1.3)	(-8.0)	(2.0)	(-3.9)	(7.1)	(1.6)
		100.0%	93.9%	99.7%	93.7%	103.8%	96.7%	101.0%	93.8%	101.6%	97.0%	105.5%	101.2%
		(-)	(-6.1%)	(-0.3%)	(-6.3%)	(3.8%)	(-3.3%)	(1.0%)	(-6.2%)	(1.6%)	(-3.0%)	(5.5%)	(1.2%)
	1人当たり年間総労働時間 〔時間/人〕	1615.5	1705.1	1575.4	1668.4	1618.2	1692.0	1347.9	1429.6	1578.9	1675.7	1249.0	1343.1
		(-)	(89.6)	(-40.1)	(52.9)	(2.7)	(76.5)	(-267.6)	(-185.9)	(-36.6)	(60.2)	(-366.5)	(-272.4)
		100.0%	105.5%	97.5%	103.3%	100.2%	104.7%	83.4%	88.5%	97.7%	103.7%	77.3%	83.1%
		(-)	(5.5%)	(-2.5%)	(3.3%)	(0.2%)	(4.7%)	(-16.6%)	(-11.5%)	(-2.3%)	(3.7%)	(-22.7%)	(-16.9%)
	売上高〔億円〕	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.6	1.8	1.7
	経営費（RT費用除く）〔万円〕	9,395	8,896	9,276	8,757	9,672	9,151	9,032	8,384	9,390	9,061	9,063	8,818
(注3)	収益（RT費用除く）〔万円〕	7258.3	6723.9	7340.3	6822.5	7662.9	7177.7	7714.4	7194.7	7644.9	7167.3	8495.3	8176.1
	経営費 （RT市販価格試算値含む） 〔万円〕	-	-	9296.1～ 9324.7	8777.0～ 8805.6	9692.4～ 9692.4	9171.3～ 9171.3	9209.1～ 9249.1	8561.4～ 8601.4	10239.7～ 10742.1	9872.4～ 10352.0	10163.7～ 10754.2	9882.4～ 10451.7
	収益（RT市販価格試算値含む） 〔万円〕	-	-	7291.7～ 7320.3	6773.9～ 6802.5	7642.9～ 7642.9	7157.7～ 7157.7	7497.2～ 7537.2	6977.5～ 7017.5	6292.5～ 6794.8	5876.2～ 6355.7	6804.6～ 7395.1	6542.5～ 7111.7
	数 旬 作 多目的田植機：移植	4/20	10/20	4/20	10/20	4/20	4/20	4/20	10/20	4/20	4/20	4/20	4/20
	業 多目的田植機：湛水直播	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
	発 遅 紙マルチ田植機：移植	4/20	2/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	2/20	4/20	4/20	4/20	4/20
	生 延 紙マルチ田植機：移植	4/20	2/20	4/20	4/20	4/20	4/20	4/20	2/20	4/20	4/20	4/20	4/20
	す トラクタ：収穫	20/20	19/20	20/20	19/20	20/20	18/20	20/20	19/20	20/20	20/20	20/20	20/20
	不 トラクタ：耕起耕耘	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
	年 トラクタ：土地改良（整地）	5/20	1/20	5/20	1/20	6/20	4/20	5/20	1/20	5/20	5/20	8/20	5/20
	能 トラクタ：代かき	7/20	10/20	8/20	11/20	8/20	8/20	8/20	11/20	6/20	6/20	10/20	6/20
	トラクタ：乾田直播	3/20	3/20	1/20	1/20	9/20	9/20	3/20	0/20	1/20	9/20	1/20	3/20

資料：FVS-FAPS による計算結果をもとに筆者作成。

注1：各シナリオにおいて RT が行う作業を「○」で示す。

注2：表中、％は基準シナリオを 100%とした時の値である。また、括弧内は基準シナリオからの変化値（％の場合は変化率）を示す。「RT 費用除く」は RT の本体導入費や運用・維持費を計上していない。「RT 市販価格試算値含む」は RT 市販価格試算値を計上し、RT の運用・維持費は計上していない。収益は会社利益と役員報酬の合計である。

注3：過去 20 年間の降雨条件のうち、作業遅延・不能となる旬が 1 旬でも発生する年数を計上している。

付表 3 RT 導入シナリオ別の玄米 1kg 当たり経営費と導入費用試算結果

—熟練者（実績）・慎重シナリオ—

作業リスク嗜好		慎重											
RT導入の有無		未導入		ロボット田植機 個別導入後		ロボットコンバイン 個別導入後		ロボットトラクタ 個別導入後		水管理用ロボット 個別導入後		全ての RT導入後	
RTが行う 作業 (注1)	移植、湛水直播	○										○	
	収穫	○										○	
	耕起耕耘、土壌改良（整地）、 代かき、乾田直播	○										○	
	水管理	○										○	
従事者数低減の有無		維持 (基準)	低減 (参考)	維持	低減	維持	低減	維持	低減	維持	低減	維持	低減
RT導入状況 (R T 機保有・ 導入状況)	田植機 [台]	2	2	0	0	2	2	2	2	2	2	0	0
	コンバイン [台]	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
	トラクタ [台]	4	4	4	4	4	4	0	0	4	4	0	0
	ロボット田植機 [台]	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2	2
	ロボットコンバイン [台]	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
	ロボットトラクタ [台]	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	4	4
	水管理用ロボット [セット]	0	0	0	0	0	0	0	0	214	214	214	214
	経営費（RT費用除く）	178.9 (-)	178.9 (0.0%)	177.6 (-0.7%)	177.6 (-0.7%)	177.6 (-0.7%)	177.6 (-0.7%)	170.8 (-4.5%)	170.8 (-4.5%)	177.0 (-1.1%)	177.0 (-1.1%)	166.3 (-7.1%)	166.3 (-7.1%)
(R T 費用除く)	変動費	57.6 (-)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)
	支払い雇用労賃	47.2 (-)	47.2 (0.0%)	46.0 (-2.7%)	46.0 (-2.7%)	45.9 (-2.8%)	45.9 (-2.8%)	39.1 (-17.1%)	39.1 (-17.1%)	45.3 (-4.1%)	45.3 (-4.1%)	34.6 (-26.7%)	34.6 (-26.7%)
	支払い地代	36.7 (-)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)
	[円/kg]	37.4 (-)	37.4 (0.0%)	37.4 (0.0%)	37.4 (0.0%)	37.4 (0.0%)	37.4 (0.0%)	37.4 (0.0%)	37.4 (0.0%)	37.4 (0.0%)	37.4 (0.0%)	37.4 (0.0%)	37.4 (0.0%)
(注2) RT費用許容額 [万円]		—	—	46.1	46.1	47.4	47.4	292.6	292.6	70.2	70.2	456.3	456.3
RT市販価格試算値 (注2) [万円]		—	—	20.0～48.6	20.0～48.6	20.0	20.0	177.1～ 217.1	177.1～ 217.1	539.1～ 857.6	539.1～ 857.6	756.2～ 1143.3	756.2～ 1143.3
(R T 市販 価格 格 試 算 値 含 む)	経営費 (RT市販価格試算値含む)	178.9 (-)	178.9 (0.0%)	178.2～ 179.0 (-0.4%～ 0.0%)	178.2～ 179.0 (-0.4%～ 0.0%)	178.2 (-0.4%)	178.2 (-0.4%)	175.7～ 176.8 (-1.8%～ 1.2%)	175.7～ 176.8 (-1.8%～ 1.2%)	191.9～ 200.7 (7.3%～ 12.2%)	191.9～ 200.7 (7.3%～ 12.2%)	187.2～ 197.9 (4.6%～ 10.6%)	187.2～ 197.9 (4.6%～ 10.6%)
	変動費	57.6 (-)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)	57.6 (0.0%)
	支払い雇用労賃	47.2 (-)	47.2 (0.0%)	46.0 (-2.7%)	46.0 (-2.7%)	45.9 (-2.8%)	45.9 (-2.8%)	39.1 (-17.1%)	39.1 (-17.1%)	45.3 (-4.1%)	45.3 (-4.1%)	34.6 (-26.7%)	34.6 (-26.7%)
	支払い地代	36.7 (-)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)	36.7 (0.0%)
	固定費 (RT市販価格試算値含む)	37.4	37.4	38.0～38.8 (1.5%～ 3.6%)	38.0～38.8 (1.5%～ 3.6%)	38.0 (1.5%)	38.0 (1.5%)	42.3～43.4 (13.1%～ 16.1%)	42.3～43.4 (13.1%～ 16.1%)	52.3～61.2 (39.9%～ 63.4%)	52.3～61.2 (39.9%～ 63.4%)	58.4～69.1 (55.9%～ 84.5%)	58.4～69.1 (55.9%～ 84.5%)
	[円/kg]	(-)	(0.0%)	(1.5%～ 3.6%)	(1.5%～ 3.6%)	(1.5%)	(1.5%)	(13.1%～ 16.1%)	(13.1%～ 16.1%)	(39.9%～ 63.4%)	(39.9%～ 63.4%)	(55.9%～ 84.5%)	(55.9%～ 84.5%)
(注2) うちRT市販価格試算値		-	-	0.6～1.3	0.6～1.3	0.6	0.6	4.9～6.0	4.9～6.0	14.9～23.7	14.9～23.7	20.9～31.6	20.9～31.6
玄米収穫量 [t]		361.3	361.3	361.3	361.3	361.3	361.3	361.3	361.3	361.3	361.3	361.3	361.3
(参考値) ロボット機能を付加した 保有農機の元の減価償却費 (注3) [万円]		0.0	0.0	60.5	60.5	156.6	156.6	418.0	418.0	0.0	0.0	635.1	635.1

資料：FVS-FAPS による計算結果をもとに筆者作成。

注 1：各シナリオにおいて RT が行う作業を「○」で示す。

注 2：括弧内の％は基準シナリオからの変化率を示す。RT の本体導入費や運用・維持費を計上していない。「RT 費用除く」は RT の本体導入費や運用・維持費を計上していない。「RT 市販価格試算値含む」は RT 市販価格試算値を計上し、RT の運用・維持費は計上していない（RT 市販価格試算値に RT の運用・維持費は含まない）。

注 3：ロボット機能を付加する農機の減価償却費を取得価額から耐用年数 7 年、定額法 1 年目、12 か月分で算出した参考値である。なお、減価償却が終了している一部農機についても計上している。

付表 4 RT 導入シナリオ別の玄米 1kg 当たり経営費と導入費用試算結果

—熟練者（実績）・強気シナリオ—

作業リスク選好		強気											
RT導入の有無		未導入		ロボット田植機 個別導入後		ロボットコンバイン 個別導入後		ロボットトラクタ 個別導入後		水管理用ロボット 個別導入後		全ての RT導入後	
RTが行う作業 (注1)	移植、湛水直播			○								○	
	収穫					○						○	
	耕起・耕転、土壌改良（整地）、 代かき、乾田直播							○				○	
	水管理									○		○	
従事者数低減の有無		維持 (基準)	低減 (参考)	維持	低減	維持	低減	維持	低減	維持	低減	維持	低減
RT導入保有状況	田植機 [台]	2	2	0	0	2	2	2	2	2	2	0	0
	コンバイン [台]	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
	トラクタ [台]	4	4	4	4	4	4	0	0	4	4	0	0
	ロボット田植機 [台]	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2	2
(R T 導入保有状況)	ロボットコンバイン [台]	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
	ロボットトラクタ [台]	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	4	4
	水管理用ロボット [セット]	0	0	0	0	0	0	0	0	338	323	351	337
	経営費 (RT費用除く)	175.4	174.0	173.5	170.9	176.3	178.5	168.2	164.7	171.9	168.3	158.6	163.6
(玄米 1 kg 当たり経営費)		(-)	(-0.8%)	(-1.1%)	(-2.6%)	(0.5%)	(1.8%)	(-4.1%)	(-6.1%)	(-2.0%)	(-4.0%)	(-9.6%)	(-6.7%)
	変動費	63.7	62.5	62.9	60.8	65.7	66.6	64.3	60.5	62.8	62.1	62.1	64.6
		(-)	(-1.9%)	(-1.3%)	(-4.6%)	(3.2%)	(4.5%)	(0.9%)	(-5.1%)	(-1.4%)	(-2.6%)	(-2.4%)	(1.4%)
	支払い雇用労賃	48.0	47.2	46.9	46.1	47.0	46.7	40.0	39.8	46.0	44.1	34.8	35.3
(R T 費用除く)		(-)	(-1.7%)	(-2.3%)	(-4.1%)	(-2.2%)	(-2.7%)	(-16.8%)	(-17.2%)	(-4.2%)	(-8.3%)	(-27.5%)	(-26.6%)
	支払い地代	38.4	37.8	38.4	37.6	38.9	38.8	38.7	37.9	38.3	37.1	38.0	38.7
		(-)	(-1.6%)	(-0.2%)	(-2.1%)	(1.3%)	(1.0%)	(0.7%)	(-1.3%)	(-0.4%)	(-3.5%)	(-1.1%)	(0.6%)
	固定費 (RT費用除く)	25.2	26.4	25.3	26.4	24.6	26.4	25.2	26.6	24.8	25.1	23.7	25.1
(注2)		(-)	(4.7%)	(0.2%)	(4.5%)	(-2.4%)	(4.5%)	(-0.3%)	(5.2%)	(-2.0%)	(-0.5%)	(-6.3%)	(-0.6%)
	RT費用許容額 [万円]	—	—	104.4	233.3	46.9	160.2	390.0	543.9	192.9	381.0	958.2	636.4
	RT市販価格試算値 (注2) [万円]	—	—	20.0～48.6	20.0～48.6	20.0	20.0	177.1～217.1	177.1～217.1	850.1～1352.4	811.6～1291.1	1100.3～1690.7	1064.4～1633.6
(玄米 1 kg 当たり経営費)	経営費 (RT市販価格試算値含む)	175.4	174.0	173.8～174.4	171.3～171.8	176.6	178.9	171.5～172.2	168.2～169.0	187.4～196.6	183.4～192.3	177.9～188.2	183.4～193.9
		(-)	(-0.8%)	(-0.9%～0.6%)	(-2.4%～2.1%)	(0.7%)	(2.0%)	(-2.3%～1.8%)	(-4.1%～3.7%)	(6.9%～12.1%)	(4.6%～9.6%)	(1.4%～7.3%)	(4.5%～10.5%)
	変動費	63.7	62.5	62.9	60.8	65.7	66.6	64.3	60.5	62.8	62.1	62.1	64.6
		(-)	(-1.9%)	(-1.3%)	(-4.6%)	(3.2%)	(4.5%)	(0.9%)	(-5.1%)	(-1.4%)	(-2.6%)	(-2.4%)	(1.4%)
(R T 市販価格試算値含む)	支払い雇用労賃	48.0	47.2	46.9	46.1	47.0	46.7	40.0	39.8	46.0	44.1	34.8	35.3
		(-)	(-1.7%)	(-2.3%)	(-4.1%)	(-2.2%)	(-2.7%)	(-16.8%)	(-17.2%)	(-4.2%)	(-8.3%)	(-27.5%)	(-26.6%)
	支払い地代	38.4	37.8	38.4	37.6	38.9	38.8	38.7	37.9	38.3	37.1	38.0	38.7
		(-)	(-1.6%)	(-0.2%)	(-2.1%)	(1.3%)	(1.0%)	(0.7%)	(-1.3%)	(-0.4%)	(-3.5%)	(-1.1%)	(0.6%)
(注2)	固定費 (RT市販価格試算値含む)	25.2	26.4	25.7～26.2	26.8～27.3	25.0	26.8	28.5～29.2	30.0～30.8	40.3～49.5	40.2～49.1	42.9～53.3	44.8～55.4
		(-)	(4.7%)	(1.6%～3.8%)	(6.1%～8.3%)	(-0.9%)	(6.0%)	(12.8%～15.7%)	(19.0%～22.1%)	(59.7%～96.1%)	(59.2%～94.5%)	(70.0%～111.0%)	(77.6%～119.4%)
	うちRT市販価格試算値	-	-	0.4～0.9	0.4～0.9	0.4	0.4	3.3～4.0	3.5～4.3	15.6～24.8	15.1～24.0	19.3～29.6	19.7～30.3
	玄米収穫量 [t]	535.6	511.4	534.8	512.5	548.7	512.6	537.1	509.0	546.3	538.2	571.3	539.0
(参考値) ロボット機能を付加した保有農機の元の減価償却費 (注3) [万円]		0.0	0.0	60.5	60.5	156.6	156.6	418.0	418.0	0.0	0.0	635.1	635.1

資料：FVS-FAPS による計算結果をもとに筆者作成。

注 1：各シナリオにおいて RT が行う作業を「○」で示す。

注 2：括弧内の％は基準シナリオからの変化率を示す。RT の本体導入費や運用・維持費を計上していない。「RT 費用除く」は RT の本体導入費や運用・維持費を計上していない。「RT 市販価格試算値含む」は RT 市販価格試算値を計上し、RT の運用・維持費は計上していない（RT 市販価格試算値に RT の運用・維持費は含まない）。

注 3：ロボット機能を付加する農機の減価償却費を取得価額から耐用年数 7 年、定額法 1 年目、12 か月分で算出した参考値である。なお、減価償却が終了している一部農機についても計上している。