

水田作における降雨リスクと営農計画
に関する研究

2017年7月

孫 雯 莉

水田作における降雨リスクと営農計画
に関する研究

筑波大学大学院

生命環境科学研究科

国際地縁技術開発専攻

博士（学術）学位論文

孫 雯 莉

目次

序 章 本研究の背景と目的・課題	1
第 1 節 研究の背景と問題意識	1
第 2 節 既存研究レビュー	3
1. リスク	3
2. 農業リスク	5
3. 数理計画法による営農計画分析	6
4. 水田作における規模論の展開	15
第 3 節 本研究の目的・課題及び構成	16
第 1 章 水田作における降雨リスクと適正経営規模	22
第 1 節 はじめに	22
第 2 節 モデルの概要	24
第 3 節 分析結果及び考察	24
1. 降雨リスク水準が規模拡大に及ぼす影響	24
2. 水稻乾田直播導入の経営効果	27
3. 適正経営面積において制約条件の上限値に達している経営資源	27
第 4 節 小括	29
第 2 章 数理計画モデル分析における降雨リスク評価方法の拡張	39
第 1 節 はじめに	39
第 2 節 降雨リスク評価研究の動向と本章の課題	39
第 3 節 分析モデルの概要	41
第 4 節 分析結果及び考察	42
1. 過去 10 年間の降雨実績による経営評価	42
2. 降雨リスク評価方法の拡張による経営評価	42
3. 過去 10 年間の降雨実績による経営評価と降雨リスク評価方法の拡張 による経営評価の比較	43
第 5 節 小括	44
第 3 章 降雨リスクを考慮した営農計画策定支援プログラム DSCP の開発 ...	54
第 1 節 背景と課題	54
第 2 節 プログラムの概要	55
第 3 節 プログラムの利用手順と機能	57
1. 降水量データ転記	57
2. 機械作業可能時間計算	58
3. 機械作業可能時間制約の単体表への転記	58

4. 機械作業可能時間変化のシミュレーション	59
5. 任意の制約量変化のシミュレーション	59
第4節 プログラムの評価	60
1. 事例の概要とモデルの最適解	60
2. 対象降雨期間の長短の影響	61
3. 既存プログラム FAPS との比較	61
第5節 小括	63
第4章 春・秋作業を区別した降雨リスク評価方法の提案	78
第1節 はじめに	78
第2節 データおよび方法	78
1. 分析方法	78
2. モデルの概況	80
第3節 結果及び考察	81
1. 秋季降雨条件による最適比例利益総額の変化	81
2. 秋季の稼働時間が制約条件の上限に達している機械作業の限界収益力	83
第4節 小括	86
終章 本研究の要約と残された課題	97
引用文献	101
謝辞	109

表目次

表序-1	数理計画システムの機能の比較	19
表序-2	気象条件変動を考慮した数理計画分析に関する研究	20
表 1-1	策定する基本モデルの前提条件（モデル I）	31
表 1-2	各作物プロセスの利益係数	32
表 1-3	作物・品種プロセス在圃期間一覧表	33
表 1-4	降雨リスク水準別の年間作業別機械作業可能時間（単位：時間）	34
表 1-5	水稲乾田直播導入の有無が適正経営面積と作付計画に及ぼす影響	37
表 1-6	各降雨リスク水準の制約の下で制約条件の上限に達している資源とその限界収益力	38
表 2-1	降雨リスク評価研究の動向	46
表 2-2	分析対象となる旬別機械作業可能時間（時間/旬）	47
表 2-3	想定する営農プロセスの変動費及び収益性	48
表 2-4	FAPS による計算結果の概要	49
表 2-5	10 万回シミュレーション LP 結果の作付パターン	50
表 2-6	10 万回シミュレーションに含まれる過去 10 年間の降雨実績による最適解	51
表 2-7	単年度の気象条件下における最適化と 10 万回シミュレーション結果の比較（単位：万円）	53
表 3-1	各プロセスの変動費及び収益性	72
表 3-2	DSCP で計算した機械作業可能時間の種々のパターンの最適解	73
表 3-3	DSCP で計算した 15 年の対象降雨期間と 10 年の対象降雨期間の最適解の比較	74
表 3-4	FAPS と DSCP の特徴の比較	75
表 3-5	DSCP と FAPS で計算した 2006～2015 年各年次機械作業可能時間の比較（単位：時間）	76
表 3-6	DSCP と FAPS で計算した 2006～2015 年次の各年次機械作業可能時間の制約のもとで求めた最適解	77
表 4-1	各プロセスの利益係数	87
表 4-2	18 パターンの作業別機械作業可能時間（単位：時間）	89
表 4-3	借地面積制約の変化による比例利益総額の標準偏差・平均値・変動係数の変化（単位：万円，%）	90

表 4-4	水稻乾田直播導入の有無がモデルの秋季の平均比例利益総額と標準偏差に及ぼす影響（単位：万円）	92
表 4-5	水稻乾田直播導入前後のモデルの秋季の比例利益総額の平均値と標準偏差の相関関係	94
表 4-6	春季の計画段階における作付面積より秋季の作付面積が 20%以上減少した推定結果の数（単位：回）	95
表 4-7	秋季の降雨条件によって稼働時間が制約条件の上限に達する機械作業の限界収益力（単位：万円/時間，回）	96

目次

図序-1 本研究の構成	21
図 1-1 借地面積拡大による借地の限界収益力と最適解の変化（モデル I）	35
図 1-2 借地面積拡大による借地の限界収益力と最適解の変化（モデル II）	36
図 2-1 単年度気象条件最適解の位置付け	52
図 3-1 時間降水量データによる作業可否判定のフローチャート	64
図 3-2 DSCP のメニュー体系	65
図 3-3 時間降水量データの転記作業	66
図 3-4 「作業可能降水量」シートの入力例	67
図 3-5 単体表に転記する機械作業可能時間のパターンの選択	68
図 3-6 作業可能時間転記を実行した後の単体表の例	69
図 3-7 「最適解一覧」シート計算結果の例	70
図 3-8 任意の制約量変化のシミュレーション時の変更項目の設定例 ...	71
図 4-1 春季と秋季の降雨の年次パターンが異なる線形計画モデル	88
図 4-2 計画段階に定する降雨条件別に秋実際降雨条件の変化による比例 利益総額の変化	91
図 4-3 計画段階に想定する降雨条件別に秋実際降雨条件の変化による比 例利益総額の平均値・標準偏差	93

序 章 本研究の背景と目的・課題

第1節 研究の背景と問題意識

農業経営の定義について、木村（2008）は、「農業経営者が、一定の自然的条件と社会経済の下で、経営目的を持ち、自主的に意思決定し、何らかの原則に従って、経営資源を利用し、作物の栽培、家畜の飼養、加工などを行うことによって、特定の農産物製品・サービスを生産し、販売し、その成果を関係者に配分する独立した持続的な組織」と述べている。よって、農業経営において、経営の維持・発展を考えるためには、明確な経営ビジョンを備えて、経営の内部環境や外部環境の変化を考慮しつつ、具体的な経営目標を達成するために必要となる経営行動を計画として明らかにする必要がある。

経営計画は、経営発展を目指して経営の将来像を描きそれを実現するために、現在から将来に向かって何をいつすべきかを提示するものである。このとき、実際の営農現場で実現可能な経営計画を「営農計画」とよぶ（南石、2011）。農業は天候や作物の成長など管理できない要因が多く、リスクが大きいため、ビジョンを実現する可能性を高めるためには、用意周到な準備、つまり営農計画が必要になる。

実現可能な営農計画を策定するためには、様々な経営資源の制約、及びリスクを考慮しなければならない。Olson（2004）は、経営資源を、土地（land）、労働力（labor）、資本（capital）、経営管理能力（management skill）、農場の気候・気象条件（climate and whether）に区分している。一定の技術条件の下で、有限な経営資源を最適な組み合わせで利用することは経営意思決定において重要な論点である。同時に、農業経営は多様なリスクに直面している。農業生産面において、気象に関する多数のコントロール不能な出来事によって影響を受ける。農業経営における意思決定の場面では、各種リスクを考慮したうえで、農業生産計画を策定することが重要であるといえる。

農業生産面では、気象条件等の自然環境が農業生産を強く規定されている。特に野外で生産活動が行われる土地利用型農業経営においては、その傾向が顕

著である。また、農産物では需要と供給の双方が生産物価格に対して非弾力的であることも農業生産をめぐる不確実性を高めている。つまり、農業経営においては、気象変動リスクや市場価格変動などの大きな不確実性やリスクに直面しているのである。よって、農業経営には、気象変動や市場価格変動といった多くの不確実性の影響を低減・回避する取り組みが必要になる。

近年、生産者は自ら米などの生産物の販売に挑戦し、消費者などの実需者への直接販売の取り組みによる高い水準の価格を実現するなど、販売活動に伴う価格変動リスクを内部化するような対応がみられる。他方、予測困難である気象条件については、それらの内部化方策の策定は容易でない。個々の農作業はそれぞれの作業適期における降雨の影響を受け、時期別作業別の投入可能労働時間の年次変動は小さくない（南石 2002）。たとえば、稲・麦・大豆などの水田作経営では、雨天時や降雨直後は、収穫作業や農薬・肥料の散布作業ができない場合もある。このため、規模拡大にともなって、労働制約が厳しくなるため、作業スケジュールに余裕がなくなり、一定程度の降雨が続くと、降雨の影響をうける機械作業可能時間の年次変動による作業適期内に作業を完了することが困難となり、作業の遅延・不能といった不測の事態が生じる可能性が大きくなる（南石・向井 1997）。加えて、特に近年では、地球温暖化など気候変動の影響により、異常気候の発生頻度が高まっているとの指摘もある。たとえば、気象庁「異常気象リスクマップ」（http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/sfc_wetdry.html, 2017年5月9日参照）では、日本全国51地点の過去100年以上（1901-2006）の降水量変動の分析を行い、「極端な多雨・少雨の年が増えている」ことが指摘されている。このことは、従来にも増して農作業が降雨などの気象条件の影響を受けやすくなる可能性を示唆している。

以上のような背景のもと、降雨の影響を受ける作業可能時間の年次変動という降雨リスクの影響を考慮した営農計画の策定が注目されている。具体的に、このリスクを考慮しない規模拡大や作付計画では、多雨年には、たとえば刈遅れなどの原因となり収益が大きく減収する事にもなりかねない。結果的に収益を期待とおりに実現することができないことになり、場合によっては大規模経営の発展をも制約しかねない。また、降雨による農作業遅延によって農作業スケジュールが過密になると、農作業の遅れをとり戻すことが優先され、結果的

に農作業安全が軽視される場合もある。その他、雨天時や降雨後は地盤が緩み道路の路肩や圃場の畦畔部が崩落しやすくなるなど、降雨が農作業事故の一因にもなりかねない。

このとき、降雨リスクを考慮した作付け計画及び営農計画の策定においては、降水量による機械作業可能時間の推定が不可欠である。しかし、現在広く使われている各種の営農計画策定支援システムの中で、降水量データによる機械作業可能時間の自動計算ができるものは営農技術体系評価・計画システム FAPS (Farming-systems Analysis and Planning Support System, 以下は FAPS とする) (南石 2002, 南石 2003) だけである。FAPS 以外の営農計画策定支援システムにおいて降雨リスクを考慮する場合には、別途、ユーザーが機械作業可能時間を計算し、モデルに組み込む必要がある。そして、様々な降雨条件による機械作業可能時間の変化に対してシミュレーション分析を行うには、降雨条件毎にモデルを適宜修正しながら、繰り返し最適解を計算しなければならない。

こうした背景を踏まえ、本研究では、水田作農業における営農計画場面における降雨の影響による機械作業可能時間の年次変動という降雨リスクに注目する。具体的には、様々な降雨リスク水準（機械作業可能時間で評価する）が営農計画の最適解に与える影響を解明し、経営意思決定に資する知見の提供を目的とする。また、降雨リスクを考慮した数理計画モデルを効率的に分析できるプログラムを開発し、このプログラムを用いて、降雨リスクの評価手法及び降雨リスクを考慮した新技術の経済的評価や安定的な営農計画の策定を検討する。さらに、経営意思決定における外部性のひとつである降雨リスクの内部化方を提案することを課題とする。

第 2 節 既存研究レビュー

1. リスク

(1) リスクと不確実性

Knight (1959) によれば、人間の世界は変化の世界であり、不確実性の世界である。人間が頼りにするのは、部分的情報・部分的知識に過ぎない人間の直面する「確率的状況」(probability situation) について、3つのタイプを明

確に区別することの必要性を指摘する (Knight, 1959). 第一のタイプは「先験的確率」(apriori probability) である. その最たるものは, 数学的命題である. たとえば, サイコロを振って「1の目」の出る確率は6分の1であり, 奇数の目(つまり1または3または5の目)の出る確率は2分の1である. これは数学的確率として先験的に決定される. 第二のタイプは「統計的確率」(statistical probability) である. これは, (特定国, 特定年次, 特定年齢)の男女の平均寿命や, (特定地域, 特定年月日の)交通事故死亡率ないし(特定地域・年月日時間の)降雨確率のごとく, 経験的に決まる数値である. 第一のタイプのような数学的厳密性がないものの, 一定の誤差内で経験的に信用できる確率である. 第三のタイプは「諸推定」(estimate, judgment) である. これは「主観的判断」や「個人的評価」が入る. 前二者のタイプは「測定可能な不確実性」(measurable uncertainty) で, リスクに関係する. 第三のタイプは「測定不能な不確実性」(unmeasurable uncertainty) で, 狭義における(真の)不確実性に関係する.

本研究では, リスクは測定可能な不確実性と定義する.

(2) リスク・マネジメント

リスク・マネジメントとは, リスクの認識・識別, 分析, 評価, 対処・処理, 監視に対して経営政策, 手続, 実践を体系的に適用することである (Hardaker *et al.*, 2007). 不確実性, 意思決定者の目的, リスク選好, 資源の最適配分が, リスク・マネジメントにおけるキーワードである.

Kay *et al.* (2008) によれば, リスク・マネジメントは, 意思決定から生じるかもしれない不確実性の望ましくない結果を管理することである. また, リスク・マネジメントの目的は, 「不確実な結果や変動する期待収益水準をもたらす諸活動の中から, 好ましい組み合わせをみつけ出すこと」であり, 「農場でのリスクの影響を低減させるために, 複数の選択肢の中から選択を行い, またそうすることによって農業者の福祉に良い影響を及ぼすことである」とも指摘されている (Kay *et al.* 2008). 単にリスクを低減させることなく, 農業経営の戦略的な目標とリスク負担をバランスさせることが目的となる (Olson 2004).

2. 農業リスク

農業経営は多様なリスクに直面している。農業リスクの種類について、様々な整理がなされている。

天野（1999）は、農業経営の危険（リスク）を静態的危険と動態的危険に区分し、さらに静態的危険を事業上の危険と財務上の危険、動態的危険を技術革新上の危険と制度上の危険に区分している。この中、事業上の危険には、生産上の危険、市場ないし価格上の危険、人的資源上の危険が含まれている。例として、生産上の危険は、冷害、旱害等自然災害等で、市場ないし価格上の危険は農産物の価格変動である。

南石（2011）では、農業リスクを、生産リスク、市場リスク、財務リスク、制度リスク、人的リスク、資産リスクの6つに大別する。

生産リスクには、収量リスク、技術リスクや生態リスクなど生産過程で生じる様々なリスクが含まれる。生態リスクは農薬や肥料など農業資材の使用に起因するものが多い。気象変動リスクや病虫害の発生などに伴う収量や品質の変動、技術革新に伴う技術の陳腐化、農業生産に起因する環境汚染や生態系破壊のリスクなどがある。収量や品質の変動は、主に気象リスクや生物リスクなどの自然リスクに起因する。

市場リスクには、価格リスクや販売リスクなど生産物や投入資材の販売や調達に関わる様々なリスクが含まれる。農産物や農業資材の市場価格変動リスクとともに、販路や需要など市場構造の変化に伴うリスクも重要な市場リスクである。

財務リスクは農業経営の財務的な不安定性に関するリスクであり、破たんのリスクが最も重要なリスクである。生産は順調でも、資材コストが高騰すれば、事業継続に必要なキャッシュフローが十分に得られないリスクもある。また、融資を受けている場合には、売上低迷や金利上昇によって返済ができなくなるリスクがある。

制度リスクは、政策変動による補助金削減・規制強化・税制変更、契約不履行に伴う賠償責任、取引上の問題発生による訴訟、国際紛争による農産物輸出禁止などに起因するリスクである。

人的リスクは経営者やその家族，あるいは，中核的な従業員の死亡，怪我，病気，経営離脱などに起因するリスクであり，経営継続困難や経営破たんの原因ともなりうる．経営構成員間の人間関係悪化なども人的リスクに含めることができる．

資産リスクは，地震・津波・土砂崩れなどの自然災害や，火災・盗難などの人為災害による農地・建物・施設などの資産損失のリスクであり，経営継続困難や経営破たんの原因ともなりうる．

農業リスクの種類について，様々な整理がなされているが，その中，生産リスクが必ず言及される．農業生産面において，気象条件に影響されやすいから，営農計画を策定するとき，気象の変動による農業生産に与える影響を考慮する必要がある．既往の研究成果には，気温による収量変動を考慮した分析と降水量の影響を受ける機械作業可能時間変動を考慮した分析がある．本研究では降水量による農業生産面の機械作業可能時間に与える影響を注目する．

3. 数理計画法による営農計画分析

営農計画を策定するには，数理計画法が有効であることが知られており，農業においても多くの研究成果がある．

1) 数理計画法の概要

数理計画法は，数学的な手順を用いて与えられた制約条件のもとで，最良の経営成果をもたらす営農計画を求める手法である．数理計画法では，計量的手法のように多数のサンプルを必要としないといった特徴があり，可能な限り現実に従った情報をそのままモデルに組み込み，個々の意思決定者にとっての現実的な「最適解」を求めようとする．

これに対して，計量的手法では，個々の意思決定者よりも意思決定者群の集計的な行動に焦点を当てている．このため，行動関数を数学的に導くために意思決定者の最適化行動が仮定され，その結果，目的関数や制約条件を現実に近いにつけることは重視されない．つまり，計量経済モデルでは，目的や制約条件の変化が個々の意思決定者の行動にどのような影響を及ぼすかを明示的に分析することは容易でない．

分析の操作上の特徴として、数理計画法では、現実の意思決定者の行動を再現できるモデルを作成する一般的な方法の確立が困難であり、モデルの作成には多くの試行錯誤が必要になる。これに対して、計量的な手法では、モデルの統計的推計方法が確立されており、モデル作成がある程度手順化されている。ところで、数理計画法を利用して、実際に実施すると取り返しのつかない失敗をする前にいろいろなシナリオの下で事前に「思考実験」することが可能になる。

1960年代後半以降、電子計算機の発達と相まって、数理計画法の中、代表的な線形計画法は著しい普及を遂げるとともに、目標計画法、動態的計画法、非線形計画法、確率的計画法などの手法の精緻化が進められた。

(1) 線形計画法

線形計画法は、連立1次不等式の制約条件のもとで、1次式の目的関数の最大化、あるいは最小化の値を求める手法である。また、線形計画法には、①生産要素および生産物の投入・産出は、相互間の結合比率を変えることなく、必要な最小単位にまで分割可能である(可分性)、②2つやそれ以上の生産プロセスを同時に稼働させると、それぞれのプロセスの技術係数の和が合成されて新しいプロセスの技術係数になる(加法性)、③異なる生産プロセスは互いに独立している(独立性)、④経営主は生産要素の調達や投資、生産物の産出に関して確定的な知識を持っている(完全知識状態)などの仮定が設定されている。

通常、線形計画法において、資源制約量や利益係数等の数値に一定のレンジを与えることによって最適値の変化を推定するパラメトリック線形計画法もまた、利用例が多い。

(2) 不連続変数計画法

不連続変数計画法は、生産要素の調達・投資や生産物の産出などのプロセスの稼働水準が不連続な値しかとり得ない場合の問題を処理する手法である。不連続な値が整数をとる時には、整数計画法と呼ばれるが、これは通常、線形計画法から「可分性」の仮定を取り除いたものである。農業経営学分野において、一定の分割不可能な調達単位があるような固定資本財(たとえば、農業機械、家畜等)や生産規模によってプロセス技術係数、利益係数が異なる場合の経営計画を作成するに当たって、多く適用されている。

(3) 目標計画法

目標計画法は、Charnes-Cooper らによって提唱され、1970 年代後半から農家の行動目標の分析、農業経営計画、あるいは地域農業計画など農業分野への適用が研究されてきた。目標計画法は線形計画法をもとに発展したものであり、線形計画法の持つ「1 次性」「可分性」「加法性」「独立性」はそのまま引き継がれている。しかし、利益の最大化、あるいは費用の最小化といった単一目標についてその最適解を求める線形計画法に対して、目標計画法は多種類の計画目標、たとえば、所得目標、作付目標、余暇目標等に関して、優先順位、達成度のバランス等を考慮した満足解を求めることができるという特徴を持っている。

(4) 動的計画法

通常、線形計画法は単一年度の経営計画を作成するに当たって最も有効に用いられる手法である。しかし、果樹部門や畜産部門のように、生産期間が複数年度にまたがる生産部門の経営計画の作成や固定資本財の更新・投資の問題に通常、線形計画法を適用することは困難である。こうした経営計画や固定資本財の更新・投資を動的に考慮する手法として、動的計画法があげられる。農業経営学分野では、その代表的なものは、多段階計画法と逐次計画法の 2 つがあるが、大石 (2012) によると、これらの手法の共通と異なる点は次のように整理できる。共通している点は、今年度の経営資源（耕地、労働力、資金、固定資本設備等）の内容は前年度の経営活動の結果によるものであるという考え方である。異なる点は、多段階計画法では計画期間全体での最適解が求められるが、これに対し、逐次計画法では各年度の最適解が順次に求められることである。

(5) 非線形計画法

非線形計画法は、Kuhn, H. W. および Tucker, A. W. などによって展開され、線形計画法では扱えない 1 次式でない複雑な問題を対処する手法である。一般的に、制約式や目的関数の中に、ひとつでも 1 次式でないものが含まれる計画問題を非線形計画法と言う。また、その中で、最も簡単なものは、制約式は 1 次式、目的関数が 2 次式で表現される 2 次計画法であり、主産地の生産出荷計画の策定等に有効な手法である。

(6) 確率的計画法

通常の線形計画法では、経営主が経営計画を作成・決定するに当たって、経営内部・外部条件に関して完全知識状態にあるという前提が置かれている。しかし、実際に、意思決定主体は、不完全知識状態のもとで、利益の確率分布から得られる効用期待値を最大にすることが一般的である。確率的計画法は、こうした経営諸条件および選択可能な経営活動に関する事象を一定の確率分布として予測している確率的知識状態にある場合の経営計画法である。その代表として、Heady-Candler と Freund の確率的計画法がある。目的関数は、Heady-Candler モデルではプロセス利益総額の分散、Freund モデルでは効用関数であり、最適解を求めるために2次計画法を用いている。

また、近年、パソコンの普及と情報処理に関するハード・ソフト面の技術進歩により、これら手法に対応する XLP や FAPS などの数理計画システムが開発されている。これらの貢献により、営農現場における数理計画法の適用は、より身近で、現実性のあるものとなってきている。

2) 数理計画モデル応用のためのソフトウェア

数理計画法を営農計画に利用する場合には、データ収集・モデルパラメータ(係数)の算出、最適解の算出、最適解の加工・編集・グラフ化などを支援するコンピュータ・ソフトウェアが必要である。本研究では、このようなコンピュータ・ソフトウェアを営農計画支援システムと定義する。

農業経営学分野において、多くの営農計画支援システムが開発されてきた。これらのシステムは、①各種の数理計画法を取り扱う汎用的システム、②線形計画法や目標計画法などを組み込んだ自動化システムの2つに大別できる。ここでは、汎用的システムとして XLP を、自動化システムとして BFM, Z-BFM, FAPS を取り上げ、それぞれのシステムの概要を整理する。

(1) CLP (1986 以前), CLP for Windows (2000)

線形計画法の計算は、タイガー計算機、電卓、大型電子計算機等で行われていたが、1980年代に入ってパソコンの普及が拡大し始めた時期に、パソコン用の線形計画法プログラムとして CLP が登場した。これは単に計算するだけに留まらず、当時普及し始めた表計算ソフトの画面に似た単体表の画面に利益係数と技術係数のデータを入力して利用する画期的なプログラムであった。これに

より、線形計画法に関する最小限の知識があれば、画面に表示されるメニューに従って処理手順を選択し、単体表の画面にデータを入力して、誰でも簡単に使うことができた。CLP のマニュアルで、線形計画法の理論と農業経営問題への応用を解説した「線形計画法の BASIC プログラム：パーソナル・コンピュータによる農業経営の診断・設計―」『農業研究センター研究資料 9 号』は、その「はじめに」で「このプログラムが合理的な経営管理を目指す農家はもとより、生産技術の改善や営農指導に当たっている農業改良普及所や農業協同組合の方々にも広く活用され、従来は経験と勘をよりどころにして解決してきた種々の意思決定問題を、客観的にしかも迅速に解決する手段として役立つことを期待します」と記していた。

(2) XLP (1998)

Windows95 の発売以降、Windows がパソコン用 OS として主流になりつつあった時期に Windows 用プログラムの XLP が登場した。これは広く普及しつつあった表計算ソフトの Excel の上で動作するアドイン・プログラムである。線形計画モデルを記述するシートを提供し、そのシートに記述されたモデルの最適解を求め、計算結果をワークシートに表示する。農業経営研究で利用される営農計画モデルを主な対象とすることを想定して、サンプルモデル、使用法の案内などを提供している。計算できる解法は、通常の線形計画法、パラメトリック線形計画法、整数計画法、目標計画法（付順方式）である。

他方、近年、XLP に逐次計画モデルの計算機能（SP4XLP）と離散パラメータ計算機能（DP4XLP6）を追加するアドインも開発されている。

(3) Z-BFM (2010)

農研機構と全農の共同開発で、農業者の経営改善を支援する行政機関・農協担当者の営農指導に活用されることを目的として、計算結果の出力を一層分かりやすく工夫したプログラム Z-BFM が開発された。

Z-BFM の特徴は、①分析結果が農業者や営農指導の担当者に分かりやすいように表示され、計画案の検討・評価が容易に行える、②利用に必要なデータがない場合でも、システムとともに提供されるデータベースのデータを修正することによりシステムが利用できる、③その結果、取り扱いやすい操作性で見やすい結果を表示し、農家に即提示できる提案書まで作成できる、などがあげら

れる。

なお、農家の営農記録から、容易に利益係数、労働係数を算出できる「経営指標管理支援プログラム」も開発されている。

(4) FAPS (2000)

CLP から XLP, Z-BFM へと開発・改良が進められる一方で、南石ら (1996b) は、営農技術体系評価・計画システム FAPS (Farming-systems Analysis and Planning Support System) を構想し、1995 年から研究開発に取り組んでいる。当初の開発形態として利用者参加型開発プロセスが採用され、利用者の意見をシステム開発に反映しながら改良・機能強化が行われてきた。

FAPS では、農業者の意思決定の場面において、多様な営農リスクや経営目標を明示的に考慮できる営農計画手法の開発が目的とされてきた。具体的には、主に土地利用型経営において重要となっている作業リスク (降雨条件等による作業遅延や作業不能)、収益リスクなどへの対応である。加えて、多様な農業者の出現に伴い、営農目標も所得目標や余暇目標など多様化してきていることに対応したシステムの最適化手法の具備である。

FAPS の分析機能は、基本モジュールである FAPS 2000、数理計画分析の最適解算出を行う数理計画システム (micro-NAPS with WINE)、アメダスデータ抽出ツール (amedas.exe) およびアメダス観測地点検索ツール (アメダス観測地点検索.xls) などから提供されており、基本モジュールに様々なツールを組み合わせることによって提供されている。

以上の4つの数理計画システムの対応可能な手法、あるいは基本の演算手法、および機能を整理したのが表1である。表1によれば、汎用的システムの CLP と XLP では、線形計画法、整数計画法、目標計画法、多段階計画法、逐次計画法を取り扱うことはできるが、2次計画法や確率的計画法の取り扱いはできない。これに対し、ここでは取り上げていないが、南石 (1990) が開発した micro-NAPS with WINE では、線形計画法、目標計画法、2次計画法、確率的計画法などに対応している。また、これらのシステムでは、各種の数理計画法に対応した単体表の自動作成機能があり、利用者が制約式、目的関数の係数および制約式の不等号を入力することにより、スラック変数などが自動的に導入され、最適解を得ることができる (南石 1998)。このように、農業経営学分野で開発さ

れてきた汎用的数理計画システムは、数理計画法のほとんどの手法に対応しており、また、単体表の形式を基本とするデータ入力の操作性を有することから、多様な経営部門の営農計画モデルの作成において有効なシステムであるといえる。しかし、これらのシステムでは、たとえば、CLP ではデータベース機能が内蔵されていない、XLP では試算計画実行機能とデータベース機能がない、計算結果の図示ができないなどの短所がある。

一方、自動的に数理計画モデルを生成するシステムでは、線形計画法と目標計画法のそれぞれを基本の演算手法とした Z-BFM と FAPS の 2 つがある。Z-BFM は、設定項目（経営耕地面積、労働力、作目ごとの費用・収益等）にデータを入力することにより、線形計画モデルが自動的に作成され、土地と労働に関する基本的な制約条件を考慮した営農計画案の作成ができる。また、様々な作物・作型のデータベースのデータや試算計画法機能が提供され、計算結果の表示・図示等ができる点に特徴がある。FAPS でも同様な機能を有するが、土地や労働に加えて機械作業時間や施設処理能力および収益リスク・作業リスクの考慮ができる。しかし、いずれの自動化システムでも耕種経営への適用を想定して開発されてきたものであるため、対応可能な経営部門は限定的である。

3) 数理計画法を援用した水田作経営研究

ルハタイオパットら (2017) は水田作経営に数理計画法を適用した研究 33 編を整理した。その結果、最も多く適用されている手法は線形計画法であり、全体の半分以上を占めていることが示されている。さらに、主要な分析システムとして、XLP と FAPS の 2 つが重要な地位を占めていることも示されている。具体的な研究内容について、18 編の研究内容は「技術の経営的評価」であり、その次に 12 編の研究内容は個別農業経営・集団経営の合理的な作付構成の検討、および営農計画の策定を試みる「営農計画」であった。他の 3 編は降雨などによる作業・収益リスクの評価、機械の更新・投資および農地購入のための計画策定となっている。「技術の経営的評価」においては、水稻直播栽培が最も多く検討されてきた。

数理計画手法を用いて直播栽培の導入効果を分析した研究は、中原ら (1996)、梅本 (1996)、宮本ら (1998)、南石ら (1996)、南石ら (1998)、前川・南石 (1999)

などがある。いずれの分析においても、直播栽培の導入は顕著なコストダウン効果や所得増大をもたらすものではなく、移植栽培の補完として位置づけられる傾向が強い。

南石ら（1998）は、「施設・機械の作業能率や作業可能時間を考慮しない線形計画モデルによる適正経営面積や導入面積の推定値は相当程度の過大推定となる可能性がある」とともに、降雨などのリスクが小さい場合においては直播栽培の有利性が発揮され易いことを指摘している。

4) リスクを考慮した数理計画モデル

リスクを考慮した数理計画モデルにおいて、主に価格変動や収量変動による利益係数の変動に注目するモデルと、労働係数や作業可能時間などの制約条件の変動を考慮したモデルの2種類がある。価格の変動は主に市場リスクに起因し、収量変動と作業可能時間の変動は主に気象が起因する。気象の年次変動によって作物の生育パターンや農作業スケジュールが年次によって変わり、作物の収量や各時期の作業可能時間も年次によって違ってくることが考えられる。

近年、生産者は自ら米などの生産物の販売に挑戦し、消費者などの実需者への直接販売の取り組みによる高い水準の価格を実現するなど、販売活動に伴う価格変動リスクを内部化するような対応がみられる。他方、予測困難である気象条件については、それらの内部化方策の策定は容易でない。

既往の研究成果においても、気象変動を考慮した数理計画分析を援用した水田作経営への意思決定支援に関連した研究がいくつか存在する。この中には、気温などの気象条件による収量変動を考慮した分析と降雨の影響を受ける機械作業可能時間変動を考慮した分析の2種類がある。表序-2はこれらの研究を整理したものである。

表序-2で示しているように、気温による収量変動を考慮した研究については、池田（1975）、下村（1979）と遠藤・須藤（1999）が挙げられる。池田（1975）は積算気温の変動によるイタリアン（イネ科牧草）の収量変動を分析した。下村（1979）は田植から出穂までに必要な積算温度（品種ごとに異なる）によって、当該地域の各年の気温の推移から得た出穂期を求め、さらに出穂期からの登熟気温による減収率を推定することにより、収量の年次変動を求めた。遠藤・

須藤（1999）は、1996、1997、1998年の各年の気象変動による水稻の生育経過の変化を考慮した数理計画手法を用いて、水稻直播栽培の導入可能性を分析した。

降水量による機械作業可能時間変動を考慮した研究は相対的に多く存在する（表序 - 2）。これらの研究では、FAPS を利用して機械作業可能時間を計算し営農計画モデルを構築した研究と、自ら降水量データによる機械作業可能時間を計算する研究の2つに区分できる。

池田（1975）は、鴻巣の17年間の日降水量データを用いて、農事試験場作業技術部機械化経営研究部（1967）が提示した降水量別の降水後経過日数と大型機械運行不可能率との関係に関する研究成果を踏まえて、週当たり作業可能日数を算出して、週当たり作業可能日数と日当たり実作業時間の積を機械作業制約量とする。

下村（1979）も、降水量別の降水後経過日数と大型機械運行不可能率との関係に関する同様の研究成果をもとに、和賀町横川目の昭和37年から51年までの15ヵ年間の日降水量データより作業可能日数を算出し、日出日入と実作業係数を使って実機械作業時間を求めている。ところが、これらの研究成果で用いられている降水量別の降水後経過日数と大型機械運行不可能率との関係は1960年代に利用されていた機械を対象に算出したデータであるため、現状の機械体系には適用できない。

樋口（1997）では数理計画モデルにおける労働可能時間に降雨による作業不能状況を考慮して、津山の10年間の日降水量データによるその期間の平均作業不能日数を計算している。

宮本ら（1998）は南石ら（1997）で提示された機械作業可能時間の計算方法を利用して、時間降水量データによる機械作業可能日数率を求め、これによって投下可能動労時間を計算している。さらに、計算した労働時間制約を計画モデルに組み込み、直播栽培の規模拡大・所得増大効果及びコスト低減効果を検討している。

若林ら（2012）は農林水産省の示した基準（降水量が0.5mm以上10mm未満の場合は「半日休み」、10mm以上30mm未満は「1日休み」、30mm以上は「2日休み」）に依拠し、過去10年間の日降水量から旬別圃場作業可能日数を導出した。

また、この値に労働力人数と日当たり労働時間を乗じ、旬別労働時間制約量を求めた。ルハタイオパットら（2016）も同じ方法により、1994年から2014年までの21ヵ年の日降水量データに基づいて旬別の作業可能日数を算定した。

南石ら（1996a）は、分析対象地に最も近いアメダス観測地点の1991年から1995年までの時間降水量データを用い、降雨の影響を受ける機械作業可能時間の変動を考慮し、どのでも年次の降雨条件が生じて、作業が実施できるような計画法を提案した。南石・向井（1997）は、1990-1992年3年間の降雨条件と各年次のみ降雨条件を考慮し、それぞれ降雨条件のもとに算出した機械作業可能時間を数理計画モデルに組み込み、水田作経営の適正経営面積の推定方法を提示した。

このほか、数多くの研究（南石ら1998、齋藤1998、前川1998、遠藤・須藤1999、土田1999、宮本2001、藤井・南石2003、笹原2005、土田2011など）が、FAPSを利用して、降雨の影響により機械作業可能時間変動を考慮した数理計画分析を行っている。

齋藤（1998）は、1988年から1997年までの10年分の降雨状況に対応した営農計画と秋作業時多雨年の3年間を除いた降雨状況に対応した営農計画を検討して直播導入の条件を分析・検討した。

土田（2011）は1991～2000年10年間のアメダスデータを基に、降雨による播種・収穫作業への影響を考慮した数理計画モデルを構築し、水田作経営に大麦と飼料用稲が導入される可能性を提示した。

FAPSにおいて、考慮する対象降雨期間は10年に限定される。降雨リスクの水準により、営農計画モデルに組み込まれる機械作業可能時間のパターンは対象期間ある単年度の作業別機械作業可能時間の組み合わせ、対象期間の各年度の作業別機械作業可能時間の平均値の組み合わせと各年度の作業別機械作業可能時間の最小値の組み合わせである。

4. 水田作における規模論の展開

農業経営における規模論は、基本的な課題のひとつである。日本農業において規模拡大の可能性や、その評価が大きな論点とされてきた。稲本ら（1993）は「従来の農業経営規模論においては、構造論的視点からの研究が主流であっ

た」とし、今後はこれとともに、「私経済的視点からの研究を重視していくことが重要な段階にきている」と指摘している。

規模論と関連して多くの研究者が取り組んだ課題に「規模の経済性」がある。規模の経済性は、企業または工場の単位期間当たりの能力産出量が増大するにつれて、生産物の平均総費用が低下していくという現象をさしている（熊谷1977）。ここで能力産出量とは、生産設備を最適に操業した場合における産出量を意味する。

規模の経済性、特に「工場規模の経済性」の根拠とされてきたものが、「分割不可能性に有する生産プロセス」の存在である。農業生産上のプロセスでいえば、生物・化学的過程であるBCプロセス(bio-chemical process)を分割可能、機械学的な過程であるMプロセス(mechanical process)を分割不可能と捉え、規模の経済に直接関係するものは農業技術のMプロセスの水準であると理解することが一般的である。生源寺(2014)は作業適期の規制を緩和するBCプロセスのイノベーション、規模の経済の発見域を押し広げる可能性を持つと指摘している。たとえば、水稻の直播技術は、BCプロセスの要素をあわせ持つ技術革新である、作業の時期という点で規模拡大を支える効果も期待されている。

本研究では、所得最大目標及び降雨リスクなどの規模拡大制限要因を明示的に考慮して、私経済的視点からの降雨リスクが適正経営規模に及ぼす影響、及び水稻の直播技術の規模拡大効果の分析を課題のひとつとする。

第3節 本研究の目的・課題及び構成

本研究では、数理計画法を用いて、水田作農業における様々な降雨リスク水準が営農計画の最適解に与える影響を解明し、降雨リスクの評価手法及び降雨リスクを考慮した新技術の経済的評価や安定的な営農計画の策定を検討する。この結果により、経営意思決定に資する知見の提供を目的とする。さらに、経営意思決定における外部性のひとつである降雨リスクの内部化方策も検討する。作業時期別の降水量の組み合わせを降雨パターンとする。

本論文の構成は次の通りである。

第1章では、過去の時間降水量データを利用して、降雨の影響による機械作

業可能時間変動を考慮した数理計画法を構築し、私経済的視点から考慮する降雨リスク水準が経営規模拡大の上限値に及ぼす影響を分析する。具体的には、実証経営データなどより営農計画モデルを構築し、考慮する降雨リスクの水準の違いによって変化する規模拡大の上限値を検討する。また、考慮する降雨リスク水準別に、水稻の直播技術が導入される前後における規模拡大の上限値及び収益の変動を解明する。降雨リスクの水準は、降雨の影響なし、対象期間各年次作業別機械作業可能時間の最小値、平均値、に大別する。

営農現場では、将来において、分析する降雨対象期間に発生しなかった降雨パターンが生じる可能性がある。よって、対象期間に実際に生じた降雨パターンに基づいた情報の範囲に限定されている場合、これらの情報からだけでは営農計画策定への意思決定支援には十分に分析力を発揮できないという問題が指摘できる。第2章では、実際に生じた降雨パターンから降雨リスク評価方法の拡張を検討する。具体的に、過去10年間の時間降水量データから算出された各年度の作業別・旬別機械作業可能時間を基礎データとして、特定の分布を仮定しない無作為復元抽出によりサンプリングし、10万パターンの機械作業可能時間の組合せを作り出す。これらの組合せをそれぞれ単体表に組み込んで、線形計画法による所得最大化の最適解を求める。そして、各単年度の機械作業可能時間の制約の下に求めた最適解と、作り出した10万パターンの機械作業可能時間の組み合わせの制約のもとで求めた最適解の結果を比較して、拡張した降雨リスクの評価方法の分析力を検証する。

現存の広く使われている各種の営農計画策定支援システムの中で、降水量データによる機械作業可能時間の自動計算ができるものは営農技術体系評価・計画システム FAPS（以下は FAPS とする）（南石 2002, 南石 2003）だけである。FAPS では、営農計画策定において考慮する降雨期間（以下、対象降雨期間）が最長 10 年間となる。一方、FAPS 以外の営農計画策定支援システムにおいて降雨リスクを考慮する場合には、別途、ユーザーが機械作業可能時間を計算し、モデルに組み込む必要がある。そして、どの営農計画策定支援システムでも、様々な降雨パターンによる機械作業可能時間の変化に対してシミュレーション分析を行うには、降雨パターン毎にモデルを適宜修正しながら、繰り返し最適解を計算しなければならない。第3章では、現存の営農計画策定支援システム

の不足点に対して、土地利用型農業における経営評価場面において降雨リスクを考慮した数理計画モデルを効率的に分析できるようにすることを目的として、(1) 対象降雨期間に上限がないこと、(2) 機械作業可能時間が自動的に計算できること、(3) 降雨パターンの変化による最適解シミュレーションを効率的に実施できることの3点を特徴とした営農計画策定支援プログラム DSCP (Decision Supporter with Consideration of Precipitation) を開発して、事例を通じてその有効性を検討する。

事前の計画としては、過去の気象情報の利用により降雨リスクを考慮した営農計画の策定だけでなく、想定する降雨パターンと異なる降雨パターンを生じる場合に、作業不能が発生する影響を織り込んだ営農計画の策定が重要と考えられる。第4章は、開発した営農計画策定支援プログラム DSCP を利用して、年間の農作業を春季の計画段階の作業（年間の作業）と秋季の作業（8月下旬以降の作業）の2つに分類し、春季の計画段階に設定した年間の作付計画に対して秋季に事前の計画と異なる降雨パターンを生じる場合に、適期内に秋作業（水稲収穫、小麦播種、大豆収穫）が可能な作付面積が計画段階よりも減少する影響をシミュレーションできる手法の開発と分析を課題とする。

最後に、終章では、本論文のまとめを行うとともに、本論文に引き続き取り組むべき課題を提示する。

表序-1 数理計画システムの機能の比較

項目		CLP	XLP	Z-BFM	FAPS
対応可能な手法, 基本の演算手法	線形計画法	○	○	○	×
	整数計画法	○	○	×	×
	目標計画法	○	○	×	○
	多段階計画法	○	○	×	×
	逐次計画法	×	○	×	×
機能	1) 数理計画モデルの自動構築	無	無	有	有
	2) データベース機能内蔵の有無	無	無	有	有
	3) 試算計画法機能内蔵の有無	有	無	有	有
	4) 計算結果の表示・図示	図表	表	図表	図表

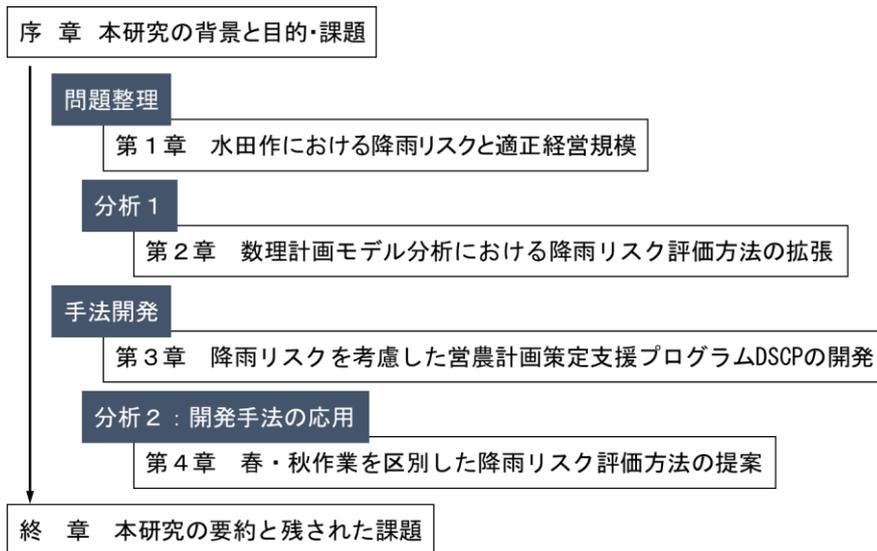
注：1) この表は，南石（1998，2002）および大石（2008，2011）をもとに作成した。

2) ○は対応可能，×は対応不可能を示す。

表序-2 気象条件変動を考慮した数理計画分析に関する研究

文献	収量変動	作業可能時間変動	分析期間	気象データの種類	降雨パターン	機械(労働)作業時期	作業可能時間の計算	分析ソフト
池田(1975)	○	○	1949-1965(17年間)	日降水量データ	平均的な降雨条件	週別	自ら	不明
下村(1979)	○	○	1962-1976(15年間)	気温と日降水量データ	平均的な降雨条件	決められた時期	自ら	自らで作成したFORTRAN program
遠藤・須藤(1999)	○	○	1996-1998(3年間)	気温と時間降水量データ	各単年度降雨条件	旬別	FAPS	FAPS
樋口(1997)	×	○	1970-1979(10年間)	日降水量データ	平均的な降雨条件	決められた時期	自ら	不明
宮本ら(1998)	×	○	不明	時間降水量データ	不明	半旬別	自ら(南石ら(1997)の方法を使う)	XLP
若林ら(2012)	×	○	2001-2010(10年間)	日降水量データ	平均的な降雨条件のもとで作業が支障なく行える	旬別	自ら	What's Best8.0
ルハタイオパットら(2016)	×	○	1994-2014(21年間)	日降水量データ	平均的な降雨条件のもとで作業が支障なく行える	旬別	自ら	XLP
南石ら(1996a)	×	○	1991-1995(5年間)	時間降水量データ	5年間どの年度でも作業が支障なく行える	旬別	自ら(南石ら(1997)の方法を使う)	micro-NAPS
南石・向井(1997)	×	○	1990-1992(3年間)	時間降水量データ	3年間どの年度でも作業が支障なく行える	旬別	自ら(南石ら(1997)の方法を使う)	micro-NAPS
南石ら(1998)	×	○	1991-1995(5年間)	時間降水量データ	少雨年の単年度の降雨条件と、5年間どの年度でも作業が支障なく行える	旬別	FAPS	FAPS
斎藤(1998)	×	○	1988-1997(10年間)	時間降水量データ	秋作業時好天年のみと、10年間どの年度でも作業が支障なく行える	旬別	FAPS	FAPS
前川(1998)	×	○	1987-1996(10年間)	時間降水量データ	10年間の時間降水量データから算出した作業可能時間が正規分布に従うものと仮定し、機械毎、旬毎に作業可能時間の平均値と標準偏差を求め、一定の確率で機械作業が支障なく実施できる機械作業可能時間を推定している。	旬別	FAPS	FAPS
土田(1999)	×	○	1991-1995(5年間)	時間降水量データ	5年間どの年度でも作業が支障なく行える	旬別	FAPS	FAPS
宮本(2001)	×	○	1996-1998(3年間)	時間降水量データ	平均的な降雨条件のもとで作業が支障なく行える	旬別	FAPS	FAPS
藤井・南石(2003)	×	○	1991-2000(10年間)	時間降水量データ	平均的な降雨条件のもとで作業が支障なく行える	旬別	FAPS	FAPS
笹原(2005)	×	○	不明	時間降水量データ	不明	半旬別(FAPSシステムを改変)	FAPS	FAPS
土田(2011)	×	○	1991-2000(10年間)	時間降水量データ	平均的な降雨条件のもとで作業が支障なく行える	旬別	FAPS	FAPS

注：数理計画分析のときに、その変動を考慮したのを○、考慮しなかったものを×とする。



図序-1 本研究の構成

第 1 章 水田作における降雨リスクと適正経営規模

第 1 節 はじめに

土地利用型農業経営では、降雨の影響を受ける機械作業可能時間の年次変動によって、作業の遅延・不能といった不測の事態が生じる可能性が大きい。このような降雨リスクを考慮することなく規模拡大等の経営展開を進展させると、たとえば、多雨年には播種遅れ、刈遅れなどの農作業遅延が発生することとなり、収益が大きく減少することにもなりかねない。本章では数理計画法を用いて、降雨リスクを考慮する水準を3つに設定して、降雨リスクが適正経営規模に及ぼす影響を明らかにすることを課題とする。

農業経営学において、規模論は、その基本的な分析視角のひとつである。国内農業における個別経営の規模拡大の可能性や、その評価が大きな論点とされてきた。たとえば、稲本ら（1993）は「従来の農業経営規模論においては、構造論的視点からの研究が主流であった」とし、今後はこれとともに、「私経済的視点からの研究を重視していくことが重要な段階にきている」と指摘している。そこで、本章では、所得最大を経営目標とする農業経営を分析対象として、降雨リスクなどの規模拡大制限要因を明示的に考慮しながら、私経済的視点からの適正経営規模の分析を課題とする。

規模論と関連して多くの研究者が取り組んだ課題に「規模の経済性」の検証がある。規模の経済性とは、企業または工場の単位期間当たりの能力産出量が増大するにつれて、生産物の平均総費用が低下していくという現象をさしている（熊谷 1977）。ここで能力産出量とは、生産設備を最適な程度に操業した場合における産出量を意味する。また、伝統的な規模の経済性が企業または工場によって採用される生産技術の格差から検討されているという意味で、これらの議論が専ら機械や設備といった固定要素の分割不能性に注目した議論となっていることも重要な視点である。具体的に、これらの研究では、農業生産上のプロセスについて、生物・化学的過程である BC プロセス (bio-chemical process) を分割可能、機械学的な過程である M プロセス (mechanical process) を分割不可能な生産要素として捉え、「規模の経済性」が本源的に M プロセスの技術特

性に起因すると結論付けられている。他方、作業適期の規制を緩和する BC プロセスのイノベーションには、「規模の経済性」の発見域を押し広げる可能性が備わっているとの指摘もある（生源寺 2014）。たとえば、水稻の直播技術は、播種機の開発・導入という M プロセスの要素も小さくはないが、本質的には稚苗の移植技術から粃の水田への直接播種という育苗プロセス、すなわち、BC プロセスに区分される技術革新であり、作業時期の分散という点で規模拡大を支える効果も期待されている。

本章は、水田作における複合経営体を想定して、考慮する降雨リスクの水準の違いが適正経営面積に及ぼす影響を検討する。さらに、水稻の直播技術という作業時期分散が可能な作物プロセスを導入することによる規模拡大可能性を明らかにする。また、経営規模の指標は経営面積とする。そして、所与の条件における規模拡大の上限値を適正経営面積とする。

ここで、関連する既往の研究成果を確認したい。具体的には、降雨リスクを考慮する数理計画分析を援用した水田作経営への意思決定支援に関連した研究がいくつか存在する。考慮する降雨条件については、ある単年度の降雨条件、あるいは対象期間の各年度の最小値、平均値などが採用されている。また、前川（1998）は、1987～1996年の10年間の降雨データから算出した作業可能時間が正規分布に従うものと仮定し、機械毎、旬毎に作業可能時間の平均値と標準偏差を求め、一定の確率で（10%、20%、30%、40%、50%）機械作業が支障なく実施できる機械作業可能時間を推定している。つまり、過去に発生した気象条件から一般的な情報を作り出す試みを行っている。その結果を元に、FAPSを援用した数理計画分析を実施している。

本章では、考慮する降雨リスク水準について、モデルに組み込む機械作業可能時間制約量を平均値、最小値、及び降雨の影響なしの3つの水準に分類する。具体的に、平均値制約とは作業別・旬別機械作業可能時間の対象期間内各年次の平均値の組み合わせを制約量とする。最小値制約とは作業別・旬別機械作業可能時間の対象期間内各年次の最小値の組み合わせを制約量とする。そして、降雨の影響なしとは、機械は毎日8時間稼働できるとしたときの作業別・旬別機械作業可能時間を制約量とする。これは、既定の機械台数のもとで機械作業可能時間の上限値である。

第 2 節 モデルの概要

本章では，茨城県南部の現地試験で得られたデータをもとに降雨リスクを考慮する営農計画モデルを構築する。

現地試験データにより，基本モデル（モデルⅠ）は表 1-1 のように設定する。稲・麦・大豆の複合経営として，作物プロセスは水稻移植（コシヒカリ，ふくまる），大豆（タチナガハ），小麦（さとのそら，きぬの波）である。田植機，トラクター，コンバイン，汎用コンバインを各 1 台と設定し，固定費（年間償却費）総額は 924.5 万円となった。

モデルⅡはモデルⅠに，作業適期規制を緩和するため，水稻乾田直播の生産プロセスを導入したモデルである。専用の播種機も同時に導入する必要があり，その結果，固定費が 94.5 万円増大する。

各生産プロセスの利益係数は表 1-2 のように設定した。各生産プロセスの在圃期間を示しているものは表 1-3 である。水稻移植の「ふくまる」は茨城県で育成した早生品種で，その収穫時期は「コシヒカリ」よりも早期に設定している。

降雨によって作業可能時間が制限される機械作業は，水稻，小麦，大豆の移植・播種・収穫である。利用する時間降水量データについては，試験地から一番近いアメダス観測点での 2001 年から 2015 年の 15 年間のデータを利用する。

南石ら（1997）の提案した計算方法を利用して，時間降水量データから算出した 15 年間作業別・旬別機械作業可能時間の平均値，最小値，及び降雨の影響なしときの機械作業可能時間は表 1-4 に示している。

第 3 節 分析結果及び考察

1. 降雨リスク水準が規模拡大に及ぼす影響

1) モデルⅠ

借地面積の制約量が追加的な 1 単位分だけ増大した場合，最適解の推移における比例利益総額の変化分を借地の限界収益力とよぶことにする。モデルⅠにおいて，借地の限界収益力が 0 円になるまで借地の制約量を次第に増加させた

ときの最適作付計画を各降雨リスク水準別に求めた。借地面積の変化に対する借地の限界収益力と比例利益総額の推移を図 1-1 に示す。

具体的に、比例利益総額は、借地面積の増加に伴って増加するが、その増加率は低減している。比例利益総額の傾きで表わされる借地の限界収益力は、借地が増加につれて階段状に低下する。借地の限界収益力線は、借地に対する一種の個別需要曲線と解釈できる。モデルに設定する地代水準は 10a 当たり 1.65 万円である。比例利益総額には借地料が差っ引いている。よって、もし実際の地代水準が 1.65 万円より高くても、両者の差額が限界収益力以下なら、借地は合理的な意思決定となる。

他方、ある借地面積に対応した垂線からは、これに対応する最適解における各作物の作付面積、比例利益総額、及び借地の限界収益力を読み取ることができる。たとえば、機械作業可能時間の最小値制約のとき、借地面積 4.0ha を境にして借地の限界収益力は 8.5 万円から 5.6 万円に低下している。借地面積 4.0ha 以下では、水稻と小麦、大豆の作付面積は継続的に増大しており、大豆と小麦の作付面積が同じである。そして、借地面積 4.0ha のとき、大豆の播種と収穫作業、及び小麦の収穫作業の機械作業時間が不足することにより、大豆と小麦の作付面積拡大が制限されはじめる。つまり、借地面積 4.0ha から 31.3ha までの規模では、大豆と小麦の作付面積が 7.0ha の水準に維持されたまま水稻の作付面積だけが 3.1ha から 30.3ha まで増大している。また、借地の限界収益力の水準も少し低下している。さらに、借地面積 30.3ha の規模では、全ての水稻の収穫時期の機械作業時間と 4 月下旬の田植作業の時間が不足することにより、水稻の作付面積の拡大が制限されている。また、借地面積 30.3ha を境に借地の限界収益力は 4.1 万円から 2.5 万円に低下している。その後、水稻の面積が一定の水準を保つ中で、11 月上旬における大豆の収穫作業と小麦の播種作業の時期的競合により、小麦の作付面積が減少し、利益係数がより高い大豆の作付面積が増大する結果、借地面積は 31.4ha まで拡大する。最終的には、借地面積 31.4ha のとき、大豆の全ての播種時期の機械作業時間が制約条件の上限に達することとなり、作付面積拡大が限界に至る。そして、借地の限界収益力は 2.5 万円から 0 となる。

機械作業可能時間の平均値制約と降雨の影響なしときにも、以上と同様のト

レンドがみられる。ただし、機械作業可能時間制約が緩和されることにより、各段階の借地面積が最小値制約のときと比べて相対的に大きくなっている。具体的に、機械作業可能時間の平均値制約ときの借地面積の上限値は約 69.6ha、降雨の影響なし場合の借地面積の上限値は約 88.7ha である。

2) モデルⅡ

モデルⅡにおいては、モデルⅠと同様に、借地面積の増加に伴って、比例利益総額は増加するが、その増加率は低減している。図 1-2 で示しているように、どの降雨リスク水準でも、面積が小さいときは、水稲乾田直播の導入効果が認められないが、面積拡大が進むと労働力制約の影響が大きくなり直播導入効果も大きくなる。これは、水稲移植プロセスの利益係数が乾田直播プロセスよりも高く、移植の選択が優先されるためである。そして、水稲移植の規模拡大が最大値達した後、水稲乾田直播が採用される。

この規模を境にして、モデルⅡの借地の限界収益力線はモデルⅠの借地の限界収益力線と乖離し始めている。具体的に、降雨リスク水準別にみると、その水準が厳しくなるほど、水稲乾田直播の導入効果が小さくなっている。機械作業可能時間最小値制約のとき、水稲乾田直播の最大作付面積は 4.8ha であり、機械作業可能時間平均値制約ときの 29.1ha、降雨の影響なしのときの 29.0ha より少ない。また、機械作業可能時間平均値制約と降雨の影響なしのときには、規模拡大の上限値に至る以前には、大豆と小麦の面積が一定となり、水稲移植の作付面積が大きく減少し、水稲乾田直播の作付面積が大きく増える段階も出現している。これは労働力の制約が厳しくなるにつれて、水稲移植より省力的な技術である水稲乾田直播が有利となることを意味しており、労働力と機械作業制約の上限値に達するまで、水稲乾田直播の作付拡大により比例利益総額が増加する。

総じて、モデルⅠとモデルⅡの比較により、水稲乾田直播の導入のよって借地の限界収益力が 0 円になる借地規模が拡大していることがわかる。具体的に、機械作業可能時間の最小値制約の下では、借地面積上限値はモデルⅠの 31.4ha から 36.3ha まで拡大している。機械作業可能時間の平均値制約の場合には、借地面積の上限値は 69.6ha から 83.1ha まで、降雨の影響なしの場合に 88.7ha から 102.0ha まで拡大している。

3) 両モデルの適正経営面積

借地面積と自作地面積の合計である経営面積について、経営面積拡大の最大値を適正経営面積とした場合、降雨の影響なしときのモデルⅠの適正経営面積を100とすると、機械作業可能時間の平均値制約の場合の適正経営面積は79.9、機械作業可能時間の最小値制約の場合の適正経営面積は40.0にしか達していない。同様に、モデルⅡにおいて、モデルⅠと同様な処理をして、降雨の影響なしときの適正経営面積を100とすると、機械作業可能時間の平均値制約の場合の適正経営面積は82.6、機械作業可能時間の平均値制約の場合の適正経営面積は39.1となっている。つまり、降雨リスクが適正経営面積に大きく影響することが確認される。

2. 水稲乾田直播導入の経営効果

表1-5は水稲乾田直播の導入前後、モデルⅠとモデルⅡにおいて、降雨リスク水準別に、適正経営面積と作付計画を示したものである。上述したように、水稲乾田直播の作付によって、規模拡大効果が現れた。また、収益・費用について、全ての降雨リスクの水準において、水稲乾田直播栽培の導入により、比例利益総額と農業所得がモデルⅠより増加し、10a当たり労働時間が減少している。たとえば、機械作業可能時間平均値の制約の下で、水稲乾田直播の導入によって、農業所得がおよそ4.9%増加し、10a当たりの労働時間は4.9%減少した。なお、機械作業可能時間の平均値の制約と最大値の制約のとき、水稲乾田直播が導入したモデルⅡの平均経営費用はモデルⅠより高い。

3. 適正経営面積において制約条件の上限値に達している経営資源

表1-6は、モデルⅠとモデルⅡについて、各降雨リスク水準の制約下で、適正経営面積において制約条件の上限値に達している資源を示したものである。

まず、いずれのモデルでも、機械作業可能時間最小値を制約量としたときには、労働時間の中、臨時雇用時間には余裕があるから、各労働制約の限界収益力はちょうど臨時雇用の賃金水準(0.1万円/時間)になっている。機械作業制約について、トラクター大豆播種7月上旬の作業制約量は0時間であり、トラクター大豆播種7月中旬の作業時間と汎用コンバイン大豆収穫11月上旬の作

業時間が制約条件の上限に達し、大豆の2つの作物プロセスの作付面積が増えることができない。また、コンバイン水稲収穫8月下旬、9月上旬、9月中旬、9月下旬、10月上旬の作業時間、及び田植機水稲田植4月下旬の作業時間が制約条件の上限に達し、水稲移植と水稲乾田直播の作物プロセスの作付面積が上限値に達した。機械作業の制約により、これ以上の面積増加が不能である。つまり、水稲の田植・播種作業よりも収穫作業が制約になっている。機械作業制約の限界収益力をみると、これからトラクター大豆収穫7月上旬、コンバイン水稲収穫8月下旬、9月上旬、9月中旬、9月下旬の作業時間を増やせば、所得を増大する可能性が高い。

各機械作業可能時間平均値を制約量としたとき、モデルⅠとモデルⅡとともに、4月下旬と5月上旬には労働時間（家族及び臨時雇用を含める）が制約条件の上限に達している。また、大豆播種7月上旬作業と大豆収穫11月上旬作業の制約で、2つの大豆の作物プロセスの作付面積を制限している。小麦収穫6月下旬作業の作業時間が制約条件の上限に達していることで、11月中旬の播種面積が制限されている。また、小麦播種11月上旬作業と大豆収穫11月上旬作業との労働競合により、11月上旬播種の小麦プロセスは採用されなかった。制約条件の上限に達している水稲の機械作業項目については、モデル間で異なるが、いずれも水稲の作付面積拡大の制約となっている。

降雨の影響なし場合には、労働力制約について、モデルⅠにおいては4月下旬と5月上旬の臨時雇用時間、モデルⅡにおいては4月中旬から5月中旬までの臨時雇用時間が制約条件の上限に達し、他の時期には、家族労働時間が制約条件の上限に達している。機械作業制約については、他の降雨リスク水準と同様に、大豆と小麦の作物プロセスの作付面積を制限している。水稲について、水稲移植の播種時期は4月下旬から5月中旬までである。4月下旬と5月上旬の労働力制約及び、5月中旬の田植作業時間が制約条件の上限に達しており、モデルⅠの水稲移植の面積拡大が制約されている。モデルⅡにおいては、水稲乾田直播を含めて全ての水稲作物プロセスの播種・田植時期は4月中旬から5月中旬までである。しかし、4月中旬から5月中旬までの臨時雇用時間が制約条件の上限に達し、水稲の面積拡大が制限されている。制約条件の上限に達している資源の中、シャードプライスが高いのは、汎用コンバイン10月下旬と

11月上旬の大豆収穫作業，及びトラクター小麦播種 11月中旬の作業である．

第4節 小括

本章では，借地面積の増加につれて，降雨リスクを考慮する水準の違いにより，規模拡大に及ぼす影響を考察した．降雨リスクを営農計画モデルに考慮したとき，降雨リスク水準が厳しくなるにつれて，適正経営面積が小さくなる．降雨の影響なしの場合の適正経営面積を 100 とすると，各機械作業可能時間の最小値制約の場合の適正経営面積は約 40 であり，機械作業可能時間平均値制約のときの適正経営面積は 80 である．考慮する降雨リスク水準が適正経営面積に大きく影響していることを示唆している．どの降雨リスク水準の制約の下でも，適正経営面積まで，経営面積の拡大によって，比例利益総額が向上する傾向を示していることも観察された．

水稻乾田直播の採用によって，規模拡大・所得増加・平均労働時間の減少効果が現れた．また，各機械作業可能時間の最小値制約の場合だけ，平均経営費用が低下する．

適正経営面積において，制約条件の上限に達している経営資源をみると，機械作業可能時間最小値制約のとき，労働力にはまだ余裕があるが，機械作業時間が逼迫することにより，経営規模拡大が制限されていることが示された．また，機械作業可能時間の平均値制約のときには，機械作業可能時間が長くなるために制約条件の上限に達している機械作業制約項目が減少し，規模拡大を制限が緩和される．他方，降雨の制約がないのときには，機械作業可能時間平均値のときより，制約条件の上限に達している機械作業制約項目がさらに減少することとなる．機械作業可能時間の制約が厳しくなるほど，規模拡大の制限も厳しくなることが確認できる．

本章で検討した降雨リスクの 3 つの水準は，リスク許容範囲の中の 3 点である．降雨の影響なしはリスク許容範囲の上限値であり，機械作業可能時間の最小値はその下限値であった．しかし，この間には，機械作業可能時間の平均値制約以外にも降雨リスクの水準は様々に存在すると考えられる．情報提供の角度からは，様々な降雨リスク水準の制約のもとでの営農計画の最適解の変化を

示し、経営主の意思決定を支援することが重要であると考えられる。次章では、過去に生じた降雨パターンに基づいた情報の範囲を超えることで、より効果的な営農計画策定への意思決定支援方策における降雨リスクの評価方法を拡張することを検討する。

表 1-1 策定する基本モデルの前提条件（モデル I）

項目	内容
経営面積	自作地は 6ha, 全て水田で, 借地料 1.65 万円/10a, 借地面積上限なし
家族労働力	経営者と配偶者 2 人
臨時雇用可能人数	4 人, 労賃は 0.1 万円/時間, 1 日 8 時間まで利用可能
栽培制約	水稲作付面積 30% 以上, 小麦作付面積 ≤ 大豆作付面
機械作業制約	水稲田植・播種・収穫, 小麦播種・収穫, 大豆播種・収穫
作物	水稲移植・小麦・大豆

表 1-2 各作物プロセスの利益係数

作目等	水稻	水稻	水稻	小麦	小麦	大豆
作型	移植	移植	乾田直播	不耕起	不耕起	不耕起
品種	コシヒカリ	ふくまる	コシヒカリ	さとのそら	きぬの波	タチナガハ
移植・播種時期	4月下-5月中	4月下-5月中	4月中-4月下	11月上-11月中	11月上-11月中	7月上-7月中
販売収入(円/10a)	95,680	93,000	90,160	7,140	7,140	21,060
単位収量(kg/10a)	520	600	490	238	258	162
販売単価(円/kg)	184	155	184	30	30	130
交付金収入(円/10a)	0	0	0	39,990	42,090	66,428
変動費(円/10a)	23,114	24,306	31,414	13,585	14,138	9,924
利益係数(円/10a)	72,566	68,694	58,746	33,545	35,692	77,564

注：各作物の利益係数は、販売収入と交付金収入の合計から変動費を差し引いたものである。

表 1-3 作物・品種プロセス在圃期間一覧表

		1月			2月			3月			4月			5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月			12月			
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
水稲	移植	コシヒカリ4月下							○	●																												
		コシヒカリ5月上							○	●																												
		コシヒカリ5月中							○	●																												
	乾直	ふくまる4月下							○	●																												
		ふくまる5月上							○	●																												
		ふくまる5月中							○	●																												
小麦	さとのそら11月上																																		○	●	■	
	さとのそら11月中																																		○	●	■	
	きぬの波11月上																																		○	●	■	
	きぬの波11月中																																		○	●	■	
大豆	タチハガナ7月上																						○	●	■													
	タチハガナ7月中																						○	●	■													

注：○ 播種, ● 移植, ■ 収穫.

表 1-4 降雨リスク水準別の年間作業別機械作業可能時間（単位：時間）

機械作業	各年次の平均値	各年次の最小値	降雨の影響なし
トラクター90ps 小麦播種 11月上旬	63.5	36.5	80.0
トラクター90ps 小麦播種 11月中旬	59.4	39.1	80.0
汎用コンバイン 3.6m 大豆収穫 10月下旬	57.5	38.5	88.0
汎用コンバイン 3.6m 大豆収穫 11月上旬	60.3	29.2	80.0
コンバイン 15条 水稻収穫 8月下旬	65.1	20.0	88.0
コンバイン 15条 水稻収穫 9月上旬	54.1	32.0	80.0
コンバイン 15条 水稻収穫 9月中旬	55.2	24.0	80.0
コンバイン 15条 水稻収穫 9月下旬	55.5	24.0	80.0
コンバイン 15条 水稻収穫 10月上旬	46.1	16.0	80.0
汎用コンバイン 3.6m 小麦収穫 6月中旬	51.7	32.0	80.0
汎用コンバイン 3.6m 小麦収穫 6月下旬	51.5	20.0	80.0
トラクター90ps 大豆播種 7月上旬	32.8	0.0	80.0
トラクター90ps 大豆播種 7月中旬	48.3	20.0	80.0
トラクター90ps 水稻播種 4月中旬	45.3	12.0	80.0
トラクター90ps 水稻播種 4月下旬	45.6	16.0	80.0
田植え機 8条 水稻田植 4月下旬	65.6	44.0	80.0
田植え機 8条 水稻田植 5月上旬	67.5	48.0	80.0
田植え機 8条 水稻田植 5月中旬	61.9	48.0	80.0

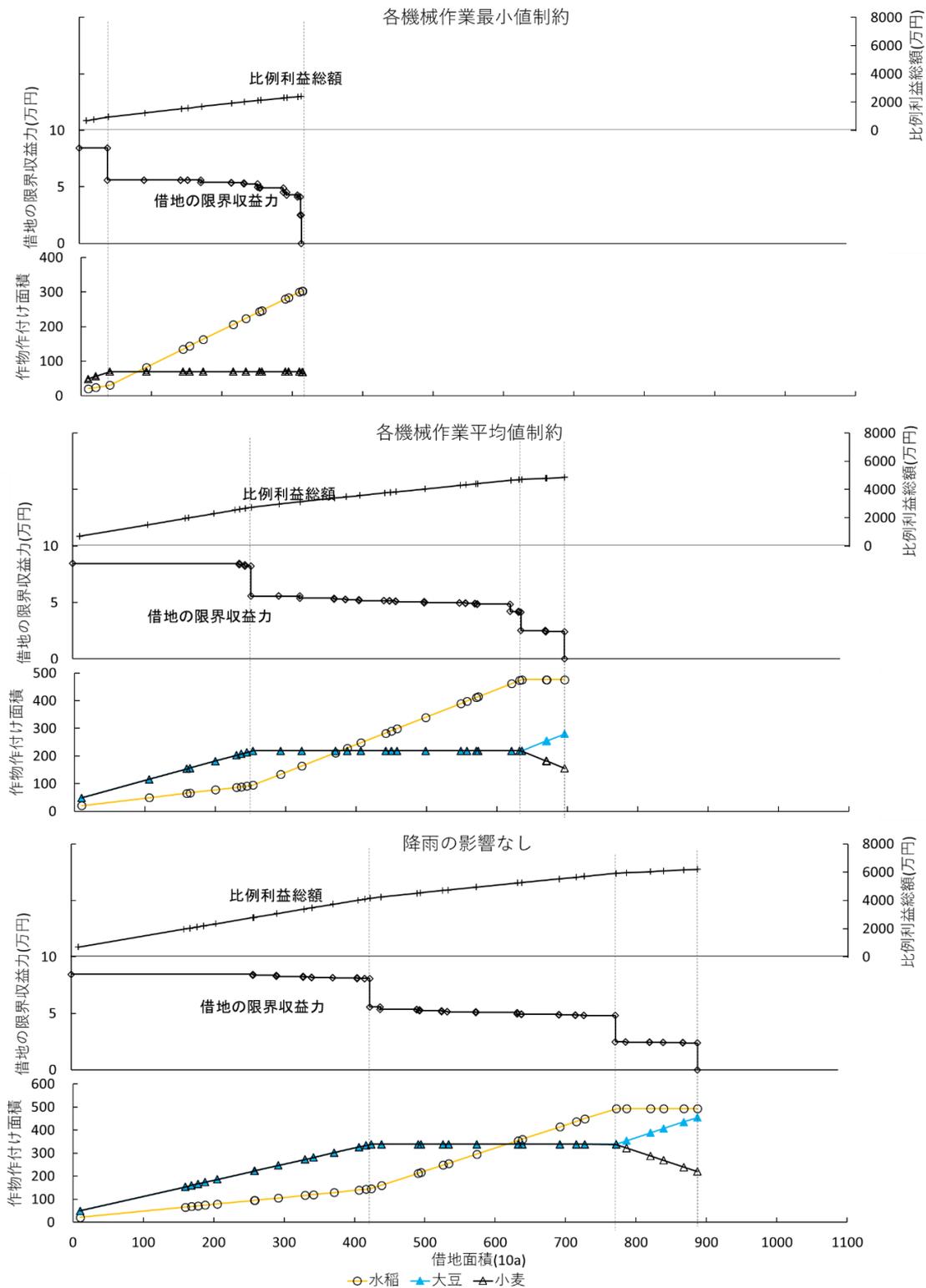


図 1-1 借地面積拡大による借地の限界収益力と最適解の変化 (モデル I)

注:比例利益総額=粗収益 - 地代 - 臨時雇用労賃.

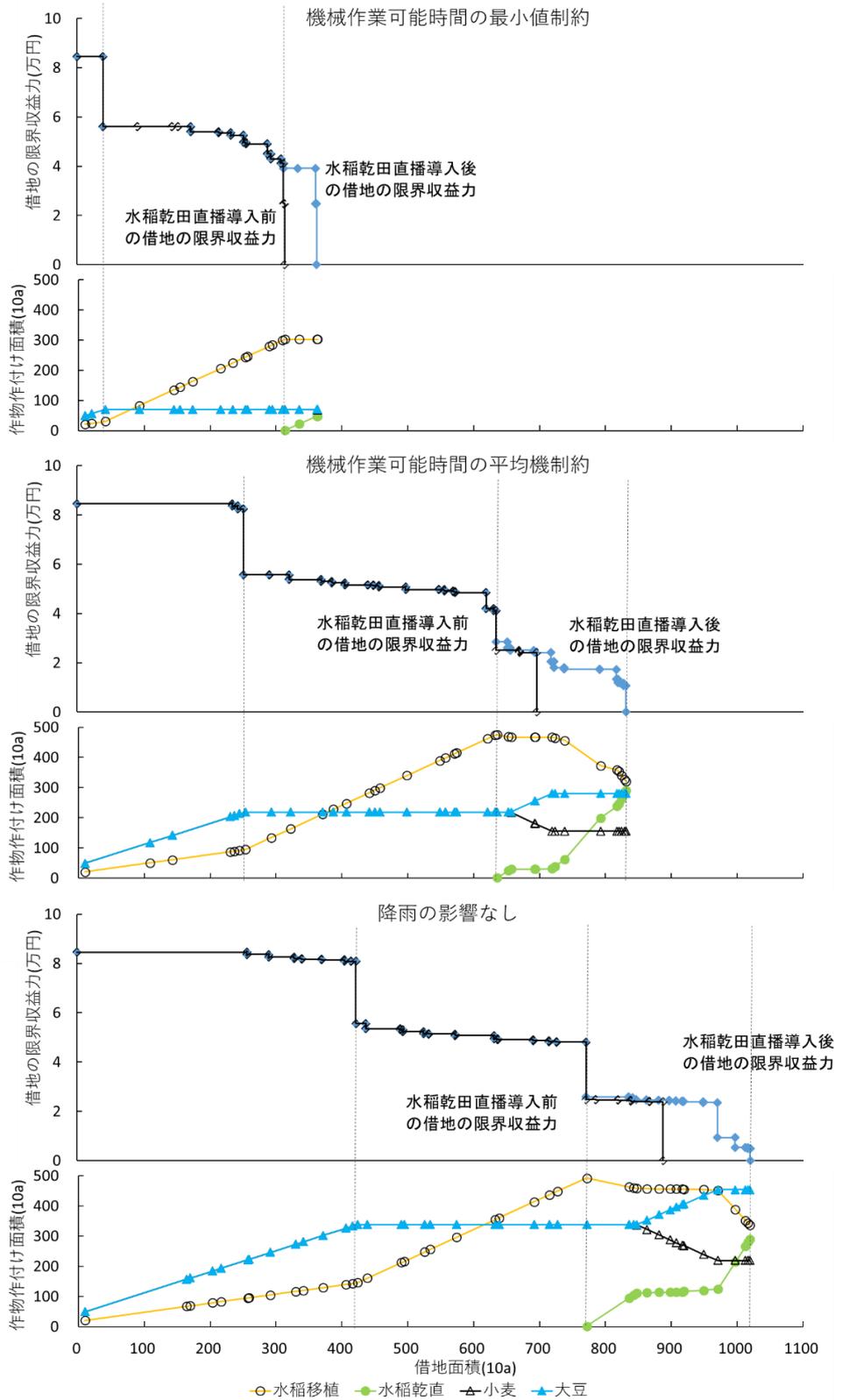


図 1-2 借地面積拡大による借地の限界収益力と最適解の変化 (モデルⅡ)

表 1-5 水稲乾田直播導入の有無が適正経営面積と作付計画に及ぼす影響

モデル区分		モデル I			モデル II (水稲乾田直播導入)		
降雨リスク水準		降雨影響なし	平均値制約	最小値制約	降雨影響なし	平均値制約	最小値制約
作付面積 (10a)	水稲移植	493.0	476.1	303.0	335.9	320.2	303.0
	水稲乾田直播	0.0	0.0	0.0	289.5	290.9	48.5
	小麦	219.8	156.0	68.2	219.8	156.0	68.2
	大豆	454.1	280.2	71.4	454.1	280.2	71.4
経営面積(10a)		947.1	756.3	374.5	1079.6	891.3	422.9
比例利益総額(万円)		6192.1	4856.6	2400.5	6439.6 (104)	5108.6 (105.2)	2590.2 (107.9)
固定費(万円)		1660.5	1660.5	1660.5	1755.0	1755.0	1755.0
農業所得(万円)		4531.6	3196.1	740.0	4684.6 (103.4)	3353.6 (104.9)	835.2 (112.9)
平均労働時間(h/10a)		6.8	7.3	8.3	6.6 (96.5)	7.0 (95.1)	8.1 (98.1)
平均経営費用(万円/10a)		5.5	6.1	8.3	5.7 (103.1)	6.2 (102.1)	8.1 (98.3)

注：括弧内の数値は、水稲乾田直播の導入前（モデル I）の最適解を 100 とする、導入後（モデル II）の最適解の指数である。

表 1-6 各降雨リスク水準の制約の下で制約条件の上限に達している資源とその限界収益力

制約項目		降雨の影響なし		各機械作業可能時間 平均値を制約とする		各機械作業可能時間 最小値を制約とする	
		限界収益力(万円)		限界収益力(万円)		限界収益力(万円)	
		モデル I	モデル II	モデル I	モデル II	モデル I	モデル II
労働力制約	家族労働制約 4月中旬	0.10	1.50	0.10	0.10	0.10	0.10
	家族労働制約 4月下旬	2.52	2.27	2.62	2.16	0.10	0.10
	家族労働制約 5月上旬	2.00	1.51	1.42	2.10	0.10	0.10
	家族労働制約 5月中旬	0.10	0.29	0.10	0.10	0.10	0.10
	臨時雇用時間上限 4月中旬	-	1.44	-	-	-	-
	臨時雇用時間上限 4月下旬	2.42	2.17	2.52	2.06	-	-
	臨時雇用時間上限 5月上旬	1.90	1.41	1.32	2.00	-	-
	臨時雇用時間上限 5月中旬	-	0.19	-	-	-	-
機械作業制約	乾田播種機50ps水稻播種4月中旬	-	-	-	1.62	-	-
	田植え機8条水稻田植4月下旬	-	-	-	-	1.57	1.57
	田植え機8条水稻田植5月中旬	4.94	-	4.62	-	-	-
	汎用コンバイン3.6m小麦収穫6月下旬	-	-	9.54	9.68	10.77	10.77
	トラクター90ps大豆播種7月上旬	-	-	21.46	21.40	21.81	21.81
	トラクター90ps大豆播種7月中旬	-	-	-	-	8.87	8.87
	コンバイン15条水稻収穫8月下旬	-	-	-	-	12.49	12.49
	コンバイン15条水稻収穫9月上旬	-	-	-	3.82	13.84	13.84
	コンバイン15条水稻収穫9月中旬	-	-	3.24	-	15.58	15.58
	コンバイン15条水稻収穫9月下旬	0.00	2.20	1.36	5.59	15.58	15.58
	コンバイン15条水稻収穫10月上旬	-	-	-	0.82	-	11.85
	汎用コンバイン3.6m大豆収穫10月下旬	15.77	15.69	-	-	-	-
	汎用コンバイン3.6m大豆収穫11月上旬	15.78	15.70	16.19	16.20	9.77	9.77
トラクター90ps小麦播種11月中旬	8.54	8.41	-	-	-	-	

注：1) 時間順（作業する旬）に機械作業制約と労働力制約を並んでいる。限界収益力の“-”は、その制約のもとで、制約条件の上限に達していないという意味である。

2) 家族労働力だけ制約条件の上限に達している項目を省いて、同じ時期の家族労働と臨時雇用労働が同時に制約条件の上限に達している項目しか示されていない。

第2章 数理計画モデル分析における降雨リスク評価方法の拡張

第1節 はじめに

国内コメ市場における米価下落の傾向が続いている。このような背景のもと、全国の水田作経営では、水稲作部門における直播栽培技術導入等による生産性向上や省力化・低コスト化、経営所得安定対策等による手厚い助成を背景とした転作田での飼料生産等、様々な対応策が取り組まれている。また、稲 WCS（稲発酵粗飼料）の導入等、飼料用稲生産に関する多くの積極的な導入事例が報告されている。

このような背景のもと、本章では、東北日本海側多雪地域における大規模水田輪作体系の実証研究に注目する。具体的には、実証経営における技術導入試験データ、水田作経営に関する各種経営指標を用いて東北地方の A 県 B 市における大規模経営体を想定した数理計画モデルを構築する。そして、このモデルに降雨リスク（降雨による機械作業リスク）を組み込み、実証経営における V 溝乾田直播導入の効果を分析する。特に、分析手法としての降雨リスク評価方法の拡張を検討する。

第2節 降雨リスク評価研究の動向と本章の課題

農業経営が直面しているリスクのひとつに気象条件がある。具体的には、個々の農作業はそれぞれの作業適期における気象条件の影響を受け、時期別作業別の投入可能労働時間の年次変動は小さくない。そこで、本章では、降雨量による作業可能時間への影響に注目し、この事象を降雨リスクと定義する。

たとえば、降雨リスクを考慮せずに営農計画を立てた場合、現実には生じる気象条件次第では、作業の遅延・不能といった不測の事態が生じる可能性がある。このため、大規模水田作経営では、降雨条件などの降雨リスクを考慮した営農計画策定とそのための手法開発が求められている。

既往の研究成果においても、降雨リスクを考慮した数理計画分析を援用した水田作経営への意思決定支援に関連した研究がいくつか存在する。たとえば、過去の気象条件に基づいた作業可能時間の推定と、その結果に基づいた数理計画モデルの構築とその分析を行った研究として、南石ら（1996）、南石・向井（1997）、斎藤（1998）、前川（1988）、遠藤・須藤（1999）、土田（2011）を指摘したい。表 2-1 では先行研究における使用したデータの特徴と降雨リスクの分析ソフトを示している。

まず、南石ら（1996）は、大規模水田経営における不耕起乾田直播栽培技術を評価している。具体的には、分析対象地に最も近いアメダス観測地点の 1991 年から 1995 年までの時間降水量データを用い、降雨の影響を受ける作業可能時間の変動を考慮し、どの降雨条件でも作業が実施できるような計画法を提案した。南石・向井（1997）では 1990-1992 年 3 年間の降雨条件と各年次のみの降雨条件を考慮し、それぞれモデルを作成し、水田作経営の適正経営面積の推定方法を提示した。

斎藤（1998）は、1988 年から 1997 年までの 10 年分の降雨条件に対応した営農計画と秋作業時多雨年の 3 年間を除いた降雨条件に対応した営農計画を検討して直播導入の条件を分析・検討した。

遠藤・須藤（1999）は 1996、1997、1998 年の各年の気象変動による水稻の生育経過の変化と作業可能時間の変化を考慮した数理計画手法を用いて、水稻直播栽培の導入可能性を分析した。

土田（2011）は 1991～2000 年 10 年間のアメダスデータを基に、降雨による播種・収穫作業への影響を考慮した数理計画モデルを構築し、水田作経営に大麦と飼料用稲が導入される可能性を提示した。

以上の研究成果に共通していることは、降雨リスク推定に使用したデータが分析対象期間に実際に生じた過去最長 10 年間の気象現象に基づいた情報の範囲に限定されているということである。つまり、将来の意思決定場面において、対象期間には発生しなかった気象条件を想定した営農計画策定への意思決定支援には十分に分析力を発揮できないという問題が指摘できる。

一方、前川（1998）は、過去に発生した気象条件から一般的な情報を作り出す試みを行っている。具体的には、1987～1996 年の 10 年間の降雨データから

算出した作業可能時間が正規分布に従うものと仮定し、機械毎、旬毎に作業可能時間の平均値と標準偏差を求め、一定の確率で機械作業が支障なく実施できる機械作業可能時間を推定している。また、その結果を元に、FAPSを援用した数理計画分析を実施している。

本章では、降雨リスク評価方法の拡張を提案し、過去10年間の降雨量の影響を受ける作業可能時間の年次変動による試算結果と提案する手法で作りに出した作業可能時間による試算結果を比較し、提案する手法の分析力を検討する。

具体的に、まず、実証経営における技術導入試験データ、水田作経営に関する各種経営指標を用いて東北地方のA県B市における大規模経営体を想定して、2005年1月1日から2014年12月1日までの過去10年間アメダスの時間降雨量データを用いて数理計画モデルを構築し、各年度における気象条件の最適解を求める。FAPSにより推定した各年度主要な作業における旬別機械作業可能時間（表2-2）を基礎データとして、特定の分布を仮定しない無作為復元抽出によりリサンプリングし、10万パターンの降雨リスクの組合せを得る¹。また、これらの組合せをそれぞれ単体表に組み込んで線形計画法（以下LPと略称する）による所得最大化の最適解を求める（以下、10万回シミュレーションと略称する）。そして、単年度の気象条件下における最適解と10万回シミュレーションの結果を比較して、拡張した評価方法の分析力を検証する。すなわち、以上の手続きにより、過去に生じた気象現象に関する情報の効果的な利用可能性について検討する。

第3節 分析モデルの概要

分析モデルにおいては、経営耕地50ha、借地可能面積10ha、全て水田とし、地代は2万円/10a、労働力は専従者3名、臨時雇用可能人数6名と設定した。助成金等に関する制度に関しては、平成27年度の水準に設定とした。FAPSを用いた試算モデルにおける目標に関する設定については、最低所得1,500万円

¹ 試算においては、10万回、50万回、100万回のランダムサンプリングを行ったが、結果のパターン数は同じであり、各パターンの出現頻度もほぼ同程度であった。そこで、本章では10万回の結果を採用する。

(第一目標), 平均所得 4,000 万円以上 (第二目標) と設定した。また, 制約条件として, 転作率の下限を 20%とした。他方, 飼料米への手厚い補助金のためにこれへの作付が多くなりやすいと考えられたため, 飼料用稲のさまざまな負の外部性を考慮し, 飼料米の作付面積を 20%以下とする制限を設けた。他方, 降雨条件によって作業可能時間が制限される機械作業は, 水稲では移植・播種・収穫, 小麦及び大豆では播種・防除・収穫であるとした²。

設定する営農プロセスは水稲移植, 水稲湛水直播, 小麦, 大豆, 稲WCS湛水直播, 水稲V溝直播(飼料米)と水稲V溝乾田直播(主食米)である(表2-3)。

第4節 分析結果及び考察

1. 過去10年間の降雨実績による経営評価

FAPS を用いて計算した単年度の降雨条件による機械作業可能時間を基礎とした最適結果は表2-4のとおりである。水稲V溝直播(飼料米)は10年間のうち7ヶ年において導入されている。作付面積は最小1.1ha, 最大8.7haまでである。他方, 水稲V溝直播(主食米)は利益係数が低いため, どの降雨パターンにおいても導入されていない。

2. 降雨リスク評価方法の拡張による経営評価

10万回シミュレーションの結果から, プロセスの作付状況をもとに13の作付パターンを得た(表2-5)。

このとき, 出現回数が一番多い作付パターンは①水稲移植と小麦, 大豆, 稲WCSの組合せであり3.6万回を超えている。②は水稲湛水直播, 水稲移植と小麦, 大豆, 稲WCS, 水稲V溝直播(飼料米)の組合せであり, 出現回数が約3.5万回である。他方, ③水稲移植と小麦, 大豆, 稲WCS, 水稲V溝直播(飼料米)の組合せの出現回数も1万を上っている。総じて, 10万回シミュレーションの

² 各作業の作業係数と作業限界降水量はFAPS内の参考資料を参照して設定した。乾田直播播種の作業限界降水量は移植と湛水直播より厳しい値として設定した。作業可能時間の推定は, FAPSのシステム内で自動計算の結果を援用した。

結果では、慣行体系としての水稲移植、大豆、小麦と利益係数が高い稲 WCS については選択結果が安定し、10 万回シミュレーションの中約 9 万回以上採用されている。他方、水稲 V 溝直播（飼料米）は手厚い補助金があるため、約 6 万回採用されており、相対的に積極的に作付されることがわかる。

また、単年度の気象条件の場合とは異なり、本章でのシミュレーションでは、水稲 V 溝直播（主食米）が採用されるケースも存在した。しかしながら、利益係数の低位性により、その出現回数は 10 万回中約 300 回程度と限定された。

3. 過去 10 年間の降雨実績による経営評価と降雨リスク評価方法の拡張による経営評価の比較

10 万回シミュレーションから得られた最適解の中においては、過去 10 年間の降雨実績による最適解とほぼ同様の結果も得られている（表 2-6）。

具体的に、2009 年度気象条件の最適解が 300 回出現したが、2006 年度気象条件の最適解は 2 回しか出現していない。加えて、2007、2008、2014 年度における気象条件の最適解と完全に一致する最適解は出現しなかったが、類似する結果が存在した。図 2-1 は 10 個の単年度気象条件の最適所得解は 10 万回シミュレーションの結果の位置付けである。各単年度気象条件の最適所得解がばらつきにみられる。最適所得が高くなるにつれて、頻度が小さくなるといえる。

また、単年度の気象条件下における最適所得と 10 万回シミュレーションの最適所得の間で平均値を比較すると（表 2-7）、後者は約 1242 万円であり、前者の 1422 万円より小さい。10 万回シミュレーションの最適所得を一様分布に当てはめて 95% の信頼区間で評価した場合、456.8 万円から 1748.9 万円の範囲に位置づけられた。これは単年度気象条件の最適所得の最小値と最大値の範囲より大きい。

水稲 V 溝直播（飼料米）が作付されるケースについては、単年度の気象条件下では 7 ケ年度において作付されており、作付面積は最小値 1.1ha、最大値 8.7ha であった。一方で、10 万回シミュレーションの結果では、水稲 V 溝直播（飼料米）が約 6 万回作付されており、紙幅の制約により具体的な数値は省略するが、推定された作付面積は 0.1ha から 10ha の範囲に分布していた。

つまり、10 万回シミュレーションによる最適化の作業は、単年度の気象条件

下における最適化の結果よりも最適所得の範囲が広く、また、プロセスごとの選択面積の上限下限を詳細に推定可能となっている。すなわち、作付パターンの出現頻度、期待される最適所得水準の範囲の視点から、よりリスクを考慮した結果になっていることがわかる。

第5節 小括

本章では東北地方のA県B市における大規模経営体を想定し、降雨リスクを数理計画モデルに組み込み、水稲V溝乾田直播導入の可能性を分析した。方法的な面では、過去に生じた気象現象に関する情報の効果的利用可能性も検討した。

分析結果から明らかになったことは以下の2点である。

まず、10万回シミュレーションの結果から得られる最適所得の分布は、単年度の気象条件下における最適化から得られる最適所得の分布よりもばらつきをもって出現していることが確認された。つまり、本章で取り組んだ降雨リスク評価方法を拡張する試み（10万回シミュレーション）では、作付パターンの出現頻度、期待される最適所得水準の範囲の視点から、よりリスクを考慮した結果になっていることがわかる。

また、水稲乾田直播栽培の経営的評価の視点からは、10万回シミュレーションの結果から、水稲V溝直播（飼料用米）の導入による所得増大効果と労働投入の省力化効果が定量的に明らかとなった。また、慣行体系としての移植水稲、麦、大豆と補助金の高い稲WCSが積極的に選択されることが確認された。加えて、単年度の気象条件下における最適化では採用されなかった水稲V溝直播（主食米）が採用されるケースの評価も可能であった。

以上の結果、水稲V溝乾田直播導入の可能性を検討する経営的評価分析を事例とした降雨リスク評価方法の拡張の提案を通じて、10万回シミュレーションによる最適化の作業は、単年度の気象条件下における最適化の結果よりも最適所得の範囲が広く、また、プロセスごとの選択面積の上限下限を詳細に推定可能であることがわかった。

本章では、考慮した対象期間以外の降雨パターンを発生した場合、降雨リス

クの評価結果が更新される可能性を確認した。現存の広く使われている各種の営農計画策定支援システムの中で、降水量データによる機械作業可能時間の自動計算ができるものは営農技術体系評価・計画システム FAPS だけである。FAPS では、営農計画策定において考慮する降雨期間（以下、対象降雨期間）が最長 10 年間となる。一方、FAPS 以外の営農計画策定支援システムにおいて降雨リスクを考慮する場合には、別途、ユーザーが機械作業可能時間を計算し、モデルに組み込む必要がある。そして、どの営農計画策定支援システムでも、様々な降雨パターンによる機械作業可能時間の変化に対してシミュレーション分析を行うには、降雨パターン毎にモデルを適宜修正しながら、繰り返し最適解を計算しなければならない。第 3 章では、現存の営農計画策定支援システムの不足点に対して、土地利用型農業における経営評価場面において降雨リスクを考慮した数理計画モデルを効率的に分析できるような営農計画策定支援プログラムの開発を課題とする。

表 2-1 降雨リスク評価研究の動向

文献	分析期間	気象データの種類	分析ソフト
南石他（1996）	1991-1995	降雨データ	micro-NAPS
南石・向井 （1997）	1990-1992	降雨データ	micro-NAPS
斎藤（1998）	1988-1997	降雨データ	FAPS
前川（1998）	1987-1996	降雨データ	FAPS
遠藤・須藤 （1999）	1996-1998	気温と降雨データ	FAPS
土田（2011）	1991-2000	降雨データ	FAPS

表 2-2 分析対象となる旬別機械作業可能時間（時間/旬）

機械作業	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
トラクター50ps:水稲播種乾田4月下旬	76.5	31.5	58.5	67.5	49.5	72.0	31.5	63.0	76.5	90.0
田植機6条:水稲田植5月中旬	96.0	86.4	67.2	86.4	81.6	81.6	86.4	96.0	96.0	96.0
田植機6条:水稲田植5月下旬	110.1	90.0	110.1	90.0	110.1	85.0	110.1	110.1	110.1	100.1
コンバイン6条:水稲収穫8月下旬	53.2	44.4	84.3	53.2	62.1	88.7	71.0	97.6	62.1	79.9
コンバイン6条:水稲収穫9月上旬	41.6	66.5	37.4	79.0	83.1	41.6	62.3	45.7	41.6	54.0
コンバイン6条:水稲収穫9月中旬	47.8	79.7	47.8	79.7	67.7	27.9	19.9	51.8	47.8	35.9
コンバイン6条:水稲収穫9月下旬	60.3	52.8	67.9	52.8	71.6	56.6	45.2	56.6	71.6	67.9
コンバイン6条:水稲収穫10月上旬	25.2	46.8	57.6	61.2	21.6	39.6	32.4	57.6	50.4	64.8
コンバイン6条:水稲収穫10月中旬	44.0	64.3	54.2	60.9	33.9	47.4	47.4	30.5	23.7	30.5
トラクター50ps:小麦播種9月下旬	60.3	52.8	67.9	52.8	71.6	56.6	45.2	56.6	71.6	67.9
汎用コンバイン2m:小麦収穫7月上旬	50.1	30.1	70.2	70.2	60.2	90.2	60.2	75.2	45.1	70.2
トラクター50ps:大豆播種6月上旬	100.3	80.2	90.2	75.2	85.2	100.3	95.3	95.3	100.3	85.2
汎用コンバイン2m:大豆収穫10月中旬	44.0	64.3	60.9	60.9	33.9	54.2	54.2	33.9	23.7	30.5
乗用管理機:大豆病虫害防除8月下旬	62.1	44.4	84.3	53.2	71.0	88.7	71.0	97.6	62.1	79.9
湛水条播機5条:水稲播種5月上旬	65.4	93.4	84.1	93.4	93.4	84.1	65.4	60.7	88.7	88.7
湛水条播機5条:水稲播種5月中旬	96.0	86.4	62.4	86.4	67.2	76.8	86.4	91.2	96.0	91.2

注：FAPS を用いて算出した。

表 2-3 想定する営農プロセスの変動費及び収益性

作物名	品種	技術体系	移植（播種）時期	収穫時期	収量 (kg/10a)	単価 (円/kg)	補助金 (円/10a)	粗収益 (万円/10a)	第1次変動費 (万円/10a)	利益係数 (万円/10a)
水稲	あきたこまち	移植	5月中旬	9月下旬 10月上旬	580	192	7,500	11.87	4.85	7.02
水稲	あきたこまち	湛水直播	5月上旬	10月上中旬	500	192	7,500	10.33	3.60	6.74
水稲	まっしぐら主食米	V溝乾田直播	4月下旬	9月下旬 10月上旬	543	130	7,500	7.81	4.13	3.68
水稲	まっしぐら飼料米	V溝乾田直播	4月下旬	9月下旬 10月上旬	600	30	84,160	10.22	4.15	6.07
稲 WCS	夢あおば	湛水直播	5月上旬	9月上中旬	1,040	20	93,000	11.37	4.34	7.03
小麦	ネバリゴシ	ドリル播き	9月下旬	7月上旬	300	17	58,214	6.33	2.96	3.37
大豆	リュウホウ	粉剤	6月中旬	10月中旬	210	113	55,824	8.45	2.63	5.81

表 2-4 FAPS による計算結果の概要

降雨パターン	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
農業所得（万円）	1,116	1,639	1,671	1,722	997	1,336	1,134	1,577	1,440	1,593
年間総労働時間（h）	5,195	5,680	5,519	5,890	5,138	5,544	5,316	5,984	5,910	5,946
作付面積合計（10a）	475.6	500.0	500.0	500.0	473.2	500.0	493.7	500.0	500.0	500.0
水稻直播（湛水）	0.0	1.6	19.5	35.2	0.0	0.0	0.0	17.3	0.0	20.9
水稻移植	117.6	183.8	143.0	183.8	100.8	173.6	151.2	204.2	204.2	204.2
小麦	167.7	47.3	34.2	22.2	200.7	135.3	181.2	76.8	117.6	70.3
大豆	93.3	136.0	129.3	127.5	71.8	114.9	114.9	71.8	50.3	64.6
稻 WCS	97.0	100.0	87.3	100.0	100.0	65.1	46.5	100.0	97.0	83.7
水稻 V 溝直播（主食米）	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
水稻 V 溝直播（飼料米）	0.0	31.3	86.9	31.3	0.0	11.2	0.0	29.9	30.9	56.3

注：FAPS を用いて計算した。

表 2-5 10 万回シミュレーション LP 結果の作付パターン

作付 パターン	水稲湛 水直播	水稲移 植：	小麦	大豆	稲WC S	水稲V溝 直播（主 食米）	水稲V溝 直播（飼 料米）	出現回数
①	0	1	1	1	1	0	0	36,329
②	1	1	1	1	1	0	1	34,234
③	0	1	1	1	1	0	1	17,870
④	1	1	1	1	0	0	1	4,185
⑤	0	1	1	1	0	0	0	3,952
⑥	0	1	1	1	0	0	1	1,767
⑦	1	1	0	1	1	0	1	1,303
⑧	1	1	1	1	1	1	1	148
⑨	0	1	1	1	1	1	1	96
⑩	0	1	0	1	1	0	1	66
⑪	1	1	1	1	0	1	1	41
⑫	0	1	1	1	0	1	1	8
⑬	1	1	0	1	1	1	1	1
出現回数	39,912	100,000	98,630	100,000	90,047	294	59,719	100,000
利益係数 （万円 /10a）	7.02	6.74	3.68	6.07	7.03	3.37	5.81	

注：表中の各作物の作付面積に問わず，1は選択されたこと，0は選択されなかったことを示す。

表 2-6 10 万回シミュレーションに含まれる過去 10 年間の降雨実績による最適解

年度	最適所得（万円）	出現回数
2005	1115.9	15
2006	1638.5	2
2007	1670.9	(1)
2008	1721.9	(1)
2009	997.1	300
2010	1336.1	26
2011	1133.6	93
2012	1577.4	25
2013	1440.1	16
2014	1592.7	(3)
最適所得の加重平均（万円）		1099.5

注：カッコ内数値は、完全に一致しないが、類似する最適解（誤差 1 未満）の数を示している。

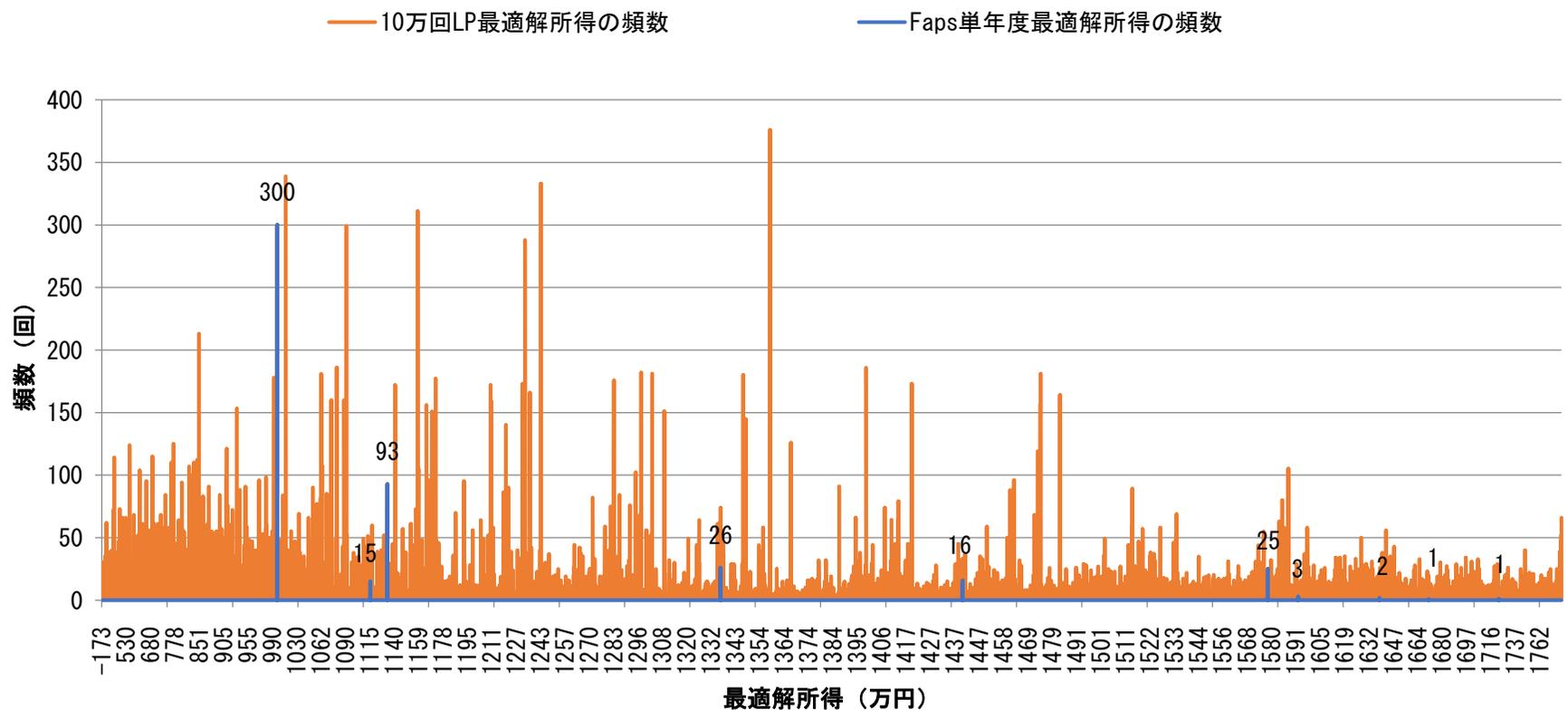


図 2-1 単年度気象条件最適解の位置付け

注：この所得は比例利益総額から固定費を差引いた所得である。

表 2-7 単年度の気象条件下における最適化と 10 万回シミュレーション結果の比較（単位:万円）

単年度の気象条件下における最適所得（万円）		10万回シミュレーション最適所得（万円）		
平均値	1422.4	平均値		1241.7
		標準偏差		353.6
最大値	997.1	平均値の95% 信頼区間	下限	456.8
最小値	1721.9		上限	1748.9

注：信頼区間の計算：最適所得の結果の分布が一様分布に従うと仮定し，最大値と最小値からそれぞれ 2.5%の範囲を除いた。

第3章 降雨リスクを考慮した営農計画策定支援プログラム DSCP の開発

第1節 背景と課題

土地利用型農業経営では降雨等の気象条件の影響を大きく受ける。たとえば、稲・麦・大豆等を主体とする水田作経営においては、規模拡大にともなって労働制約が厳しくなるため、作業スケジュールに余裕がなくなり、降雨条件によって機械作業が遅延・不能となる可能性が増大する（南石・向井 1997）。したがって、大規模経営を対象とした経営評価の際に、こうした降雨リスクの影響、すなわち降雨条件による機械作業可能時間の変化を考慮した営農計画の策定が必要となる。降雨リスクを考慮した作付け計画及び営農計画の策定において、降水量による作業可能時間の推定が不可欠である。しかし、現在広く使われている各種の営農計画策定支援システムの中で、降水量データによる機械作業可能時間の自動計算ができるものは営農技術体系評価・計画システム FAPS（以下は FAPS とする）（南石 2002, 南石 2003）だけである。

FAPS は、定型的な表形式のデータ入力フォームにデータを入力し、モデル生成に必要な条件をメニューから選択することにより、数理計画モデルの自動生成を実行するシステムである（南石 2002）。FAPS では、営農計画策定において考慮する降雨期間（以下、対象降雨期間）が最長 10 年間となっており、対象年次の時間降水量データから作業別・年次別旬別機械作業可能時間を自動的に算出する。降雨パターンを変化させる場合には、ユーザーはモデルに組み込む降雨パターンの選択段階から同様の処理を繰り返し実施し、モデルの再構築、最適解の再計算を行わなければならない。

一方、FAPS 以外の営農計画策定支援システムにおいて降雨リスクを考慮する場合には、別途、ユーザーが機械作業可能時間を計算し、モデルに組み込む必要がある。そして、様々な降雨パターンによる機械作業可能時間の変化に対してシミュレーション分析を行うには、降雨パターン毎にモデルを適宜修正しながら、繰り返し最適解を計算しなければならない。

こうした背景を踏まえ、本章では、研究者等、数理計画モデルにある程度精

通した利用者が、土地利用型農業における経営評価場面において降雨リスクを考慮した数理計画モデルを効率的に分析できるようにすることを目的として、(1) 対象降雨期間に上限がないこと、(2) 機械作業可能時間が自動的に計算できること、(3) 降雨パターンの変化による最適解シミュレーションを効率的に実施できることの3点を特徴とした営農計画策定支援プログラム DSCP (Decision Supporter with Consideration of Precipitation) の開発を課題とする。

第2節 プログラムの概要

DSCP は Microsoft Excel (以下, Excel) のアドイン形式で作成された VBA プログラムであり、長期間または様々なパターンの降水量データから機械作業可能時間を計算する機能を有する。さらに、計算された機械作業可能時間は数理計画モデルの制約に自動的に組み込まれ、XLP (大石 2006) の線形計画法 (以下, LP) 計算機能を利用して、降雨パターン毎に計算された機械作業可能時間に応じた最適解を一括計算する機能を提供する。

なお、機械作業可能時間の計算には南石ら (1997) が提示した時間降水量データに基づく計算方法を用いている。既存研究には、作業可否の推定に利用する降水量データは、1日当たりの降水量である日降水量と1時間当たりの降水量である時間降水量の2種類が存在する。日降水量を作業可否の判定に用いた研究成果は池田 (1975)、下村 (1979)、石束・長野間 (1985)、樋口 (1997) などが挙げられる。池田 (1975) は、鴻巣の17年間の日降水量データを用いて、農事試験場作業技術部機械化経営研究部 (1967) が提示した降水量別の降水後経過日数と大型機械運行不可能率との関係に関する研究成果を踏まえて、週当たり作業可能日数を算出して、週当たり作業可能日数と日当たり実作業時間の積を機械作業制約量とする。下村 (1979) も、降水量別の降水後経過日数と大型機械運行不可能率との関係に関する同様の研究成果をもとに、和賀町横川目の昭和37年から51年までの15ヵ年間の日降水量データより作業可能日数を算出し、日出日入と実作業係数を使って実機械作業時間を求めている。ところが、これらの研究成果で用いられている降水量別の降水後経過日数と大型機械

運行不可能率との関係は 1960 年代に利用されていた機械を対象に算出したデータであるため、現状の機械体系には適用できない。他方、石東・長野間(1985)では、転換畑シミュレータにおける作業可否判定基準の中に日降水量を織り込んで、圃場内作業毎に与えられる作業実施基準の降水量と当日、前日、前々日の日降水量を比較して、作業を実施できる天候か否かが判断されている。また、樋口(1997)では数理計画モデルにおける労働可能時間に降雨による作業不能状況を考慮して、津山の 10 年間の日降水量データによるその期間の平均作業不能日数を計算している。

ところで、日降水量を用いる場合、降雨の時刻と無関係に作業可否を判定することにより、作業可能時間が過小推定される可能性があることが指摘されている(南石ら 1997)。たとえば、実際には 18 時まで降雨がなく終日作業可能であった状況でも、18 時以降に大雨が発生すれば日降水量データを用いると終日作業不能と判定されてしまう。

これに対して、南石ら(1997)の提案した計算方法は、作業可能降水量(作業中、当日、前日、前々日)及び時間降水量データから、図 3-1 のフローチャートに従って機械作業の可否を半日単位で判定し、毎日の作業可能指数を算出する。そして、この日別作業可能指数から、作業別・年次別旬別機械作業可能時間を算出する。この方法は、それまでの日降水量による判定基準よりも現実的な計算方法と評価され(塩谷 1999)、これをベースとした計算アルゴリズムが FAPS にも実装されたことで、その後、数多くの研究で利用されている(南石ら 1996, 南石・向井 1997, 前川 1998, 遠藤・須藤 1999, 長田ら 1999, 小室 1999, 宮本 2001, 河野 2002, 藤井・南石 2003, 笹原 2005, 土田 2011)。

また、数理計画モデルの最適解の計算エンジンとして XLP を利用する理由は、(1) XLP が線形計画法等の各解法を実行させる機能を独立したプロシージャとして提供し、他のプログラムからその機能を利用することが容易であること、(2) XLP は Excel のアドイン形式で作成されているため、その LP 計算機能等を利用するとき、構成部品であるシート等は表示されないの、ユーザーは DSCP と XLP をシームレスに操作できることの 2 点である。

第3節 プログラムの利用手順と機能

DSCP を利用する場合、利用者は、分析対象とする年次の時間降水量データ、降雨リスクを考慮していない数理計画モデルを記述した単体表、及び XLP のプログラムを準備しておく必要がある。時間降水量データは、日本全国各地のアメダス観測地点のデータを気象庁のホームページから無料でダウンロードできる（<<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>>、2016年12月14日参照）。また、XLPについても Web ページ（<<http://39you.net/xlp/>>、2016年12月14日参照）から無料でダウンロードできる。なお、単体表は XLP で決められた形式（大石 2006）で作成する必要があるが、ユーザーはプロセスや制約条件など自由に構築することができる。

DSCP を実装した Excel ファイル“DSCP.xlam”を実行すると、Excel が起動し、リボンの「アドイン」タブにメニュー [DSCP] が表示される。また、[DSCP] 各種機能は、右クリックメニュー（ショートカットメニュー）からでも利用可能である。

DSCP の機能（メニュー）は図 3-2 のとおりである。以下では、そのうちの主要機能について述べる。

1. 降水量データ転記

〔降水量データ転記〕機能は、気象庁のホームページからダウンロードした時間降水量データを DSCP で利用可能な形式に変換する機能である。

具体的には、まず、ユーザーは分析対象とする年次の時間降水量データ（CSV 形式のファイル）を年次毎にダウンロードし、同じフォルダに保存する。次に、Excel ファイル“DSCP.xlam”を開き、〔降水量データ転記〕機能を実行すると、「ファイルを開く」ダイアログボックスが表示される。そこで、時間降水量データを保存したフォルダを開き、全てのファイルを選択する（2つ以上のファイルを選択するので、Ctrl キーあるいは Shift キーを押しながら選択する）。続いて、「開く」をクリックすると、新規の Excel ファイルが作成されて、「時間降水量」シートに全ての年次の時間降水量データが転記される（図 3-3）。ユーザーは用意した降雨リスクを考慮していない段階の単体表を作成された

Excel ファイルにコピーして、そのシートの名前を「単体表」に修正する。これ以降の作業は、この Excel ファイル上において行う。

2. 機械作業可能時間計算

[機械作業可能時間計算] メニューの下に、[計算の準備 (旬別)], [計算の準備 (半旬別)], [一括計算 (旬別)] 及び [一括計算 (半旬別)] の4つのサブメニューが存在する。これらのメニューの実行によって、旬別あるいは半旬別の機械作業可能時間を計算することができる。

具体的な手順 (旬別の場合) としては、まず、ユーザーが [計算の準備 (旬別)] を実行すると「労働時間 (旬別)」、「作業可能降水量」及び「機械作業可能時間」の3つのシートが自動的に作成される。作成された「労働時間 (旬別)」シートには、一日の最大労働時間と旬別労働可能日数の初期値が自動的に入力されるが、必要に応じてユーザーはその値を修正する。また、「作業可能降水量」シートには、ユーザーが降雨の影響を受けると判断する機械名称、作業略称、作業時期、機械台数及び作業可能降水量を入力する (図 3-4)。このうち、作業別の作業可能降水量は農林水産省 (1987) の作業可能降水量や対象とする経営の営農実態を参考にして設定する。入力した後、[一括計算 (旬別)] を実行すると、自動的に各機械作業の年次別・旬別作業可能時間、及び年次別・旬別機械作業可能時間の平均値、最大値、最小値が計算され、「機械作業可能時間」シートに示される。

3. 機械作業可能時間制約の単体表への転記

[機械作業可能時間制約の単体表への転記] 機能を利用する前に、ユーザーは「単体表」シート上の作物プロセス名が示されているセルを全て選択する。次に [機械作業可能時間制約の単体表への転記] 機能を実行すると、図 3-5 で示したように、表示されるポップアップウィンドウのプルダウンメニューから、転記する機械作業可能時間のパターン (1年目, 2年目, … 平均値等) を選んで、OK ボタンを押す。すると、図 3-6 のように、自動的に「単体表」シートに機械作業可能時間制約 (制約名と制約量) が追加され、作物プロセスの列と追加された機械作業制約の行が交差するセル範囲が黄色で示される。ユーザー

はこのセル範囲に各作物プロセスに必要な機械作業の作業係数（10a 当たり必要な作業時間）を入力する。

以上の手順によって、降雨リスクを考慮する数理計画モデル（単体表）が完成する。次に、XLP の LP 計算機能を利用して、数理計画モデルの最適解を計算する。

4. 機械作業可能時間変化のシミュレーション

〔機械作業可能時間変化のシミュレーション〕機能を実行すると、設定した様々な降雨パターンに対応した最適解の一覧が自動的に「最適解一覧」シートに表示される。具体的には、まず機械作業可能時間の全てのパターン（各年次降雨パターンによる計算結果とそれらの最大値、平均値、最小値）が「変動項目」シートに集計される。次に、単体表の機械作業可能時間制約量をパターン毎に入れ替えながら、モデルの最適解が自動的に計算される。そして、降雨パターン毎の最適解における農業所得（以下、最適農業所得）と各作物プロセスの作付面積が「最適解一覧」シートに示される。図 3-7 は「最適解一覧」シートの計算結果の例である。「最適解一覧」シートの一列目に、各降雨パターンに対応した最適解の計算結果の詳細を示すシートへのリンクがあり、ユーザーがそれをクリックすると、潜在費用、安定域等の最適解に関する詳しい情報を確認することができる。

これまでに述べた機能により、ダウンロードした時間降水量データによる機械作業可能時間の計算、数理計画モデルへの組み込み、様々な降雨パターンを考慮した数理計画モデルの最適解計算という一連の作業を効率的に実行することができる。

5. 任意の制約量変化のシミュレーション

〔任意の制約量変化のシミュレーション〕機能は、機械作業可能時間制約の一部、あるいは他の制約項目の制約量を変化させる場合の最適解を計算し、その結果の一覧を示す。たとえば、この機能により、すべての機械作業可能時間制約を春作業と秋作業に分離し、春作業のときの降雨パターンを平均値で固定し、秋作業は対象降雨期間のすべての降雨パターンで計算するといったことが

可能である。

図 3-8 はその具体例である。たとえば，単体表の赤い枠部分の制約量のみを変化させたい場合，ユーザーは「変動項目」シートに「単体表」シートと同じ順番で制約名称を第一列に入力し，変動パターンを第 2 列から列毎に入力する。入力後「単体表」シートにおいて赤い枠のセルを選択し，[任意制約量変化のシミュレーション] 機能を実行する。その結果，入力した変動パターンに対応したすべての最適解が「最適解一覧」シートに出力される。

第 4 節 プログラムの評価

以下では，青森県の実証経営を事例として，その試験データや水田作経営に関する各種経営指標から構築した数理計画モデルへの適用を通じて DSCP の有効性を評価する。

1. 事例の概要とモデルの最適解

事例となる経営のデータを参考に，経営耕地は全て水田とし，経営面積を 40ha と設定した。利用可能な各種機械はそれぞれ 1 台とし，労働力は専従者 2 名，臨時雇用 4 名と設定した。賃金は 1,250 円/時間，1 日の最大労働時間 8 時間，旬別労働可能日数は休暇日を想定せずに，上旬と中旬は 10 日，下旬は月によって異なるように設定した。作物プロセスは水稲 V 溝直播（まっしぐら主食米，飼料米），水稲鉄コーティング直播（まっしぐら），移植飼料米（慣行，疎植），大豆慣行，大豆晩播狭畦，大豆立毛間小麦，高畝枝豆栽培（福丸，毛豆）とした。また，大豆立毛間小麦は大豆慣行の間作であり，「大豆慣行面積 \geq 大豆立毛間小麦面積」という土地利用制約を付与している。各プロセスの変動費及び収益性は表 3-1 のとおり設定した。降雨によって作業可能時間が制限される機械作業は，移植・播種・収穫である。実証経営の地域実態を反映して，各作物について作業別・旬別機械作業を設定した。その合計は 14 である。利用する時間降水量データは，経営体から一番近いアメダス観測点における 2001 年から 2015 年の 15 年間のデータを利用した。

上記モデルをベースに，DSCP を用いて機械作業可能時間を計算し，その制約

を組み込んだモデルの最適解を計算した。DSCP の実行によって、2001 から 2015 年までの各年次の機械作業可能時間と、それらの平均値、最小値、最大値を制約条件としたモデルの最適解の計算結果が表 3-2 のとおり出力された。

本事例の場合、一般的な営農計画策定支援システムであれば、15 年分の降水量データから 1 年毎の機械作業可能時間を計算し、そこから年次毎の単体表を作成して、それぞれ最適解を計算する必要がある。また、FAPS の場合であれば、15 年分のデータをたとえば 10 年と 5 年の 2 つに区分し、かつ 15 年間の機械作業可能時間の最大値、最小値、平均値は別途計算して、各種降雨パターンに応じた最適解の計算を 18 回実行する必要がある。それに対して DSCP では、対象年次の時間降水量データのセット及び基本の単体表を用意すれば、各種降雨パターンに応じたモデルの最適解を一回の作業で計算することができる。つまり、DSCP を用いることで分析の効率化が可能であることがわかる。

2. 対象降雨期間の長短の影響

表 3-3 の左側は、DSCP を用いて 2001 から 2015 年まで 15 年間の各年次の機械作業可能時間の平均値、最小値、最大値を制約条件に加えたモデルの最適解である。一方、右側は 2006 から 2015 年まで 10 年の対象降雨期間の最適解である。分析における対象降雨期間の長短に着目すると、最小値と最大値の場合には最適解の計算結果が一致しているが、平均値で求めた最適所得は 15 年間の場合 2,241.0 万円となり、10 年間の場合の 2,262.7 万円よりも低くなっている。作付面積についてみると、10 年間平均値では水稻飼料米疎植が 15.1ha まで耕作可能となるが、15 年間平均値では 14.2ha に留まっている。これは、対象降雨期間を 10 年間で計算した場合に、それ以外の降雨パターンが生じると、最適解として計算された作付計画に基づいて作業を実施した際に、遅延・不能になる可能性があることを意味している。つまり、DSCP は長期間の降雨パターンを前提としたシナリオを提示することで、より多様なリスクを考慮した経営意思決定支援を可能とするプログラムであるといえる。

3. 既存プログラム FAPS との比較

冒頭でも述べたとおり FAPS は降雨リスクを考慮した数理計画モデルの分析

を行うツールとして広く活用されている。その FAPS と DSCP の特徴を整理すると、表 3-4 のとおりである。

FAPS では、数理計画モデルを自動生成するため、数理計画法に不慣れな初心者でも容易に利用することが可能であるが、DSCP では基本となる数理計画モデルをあらかじめユーザーが用意する必要があるため、数理計画法にある程度精通した経験者に利用が限定される。ただし、ユーザーは数理計画モデルを XLP の機能の範囲で自由に構築することができることから、分析の自由度は高い。さらに、DSCP には FAPS とは異なる分析機能が備えられている。具体的には、(1) より長期の降雨期間を考慮できること、(2) 作業制約について旬別だけでなく、より詳細な半旬別の作業制約を設定できること、(3) 対象年次の年次別機械作業可能時間とそれらの平均値・最小値を計算するだけでなく、それらの最大値となる機械作業可能時間も求め、あらゆる降雨パターンの制約のもとでの最適解を一括計算可能なことである。

また、FAPS では時間降水量データの読み取りにおいて、整数型に宣言された変数の定義が採用されているが、DSCP では降水量データが浮動小数点数として読み込まれる。ところで、近年、気象庁の時間降水量の統計値が整数から小数へと精緻化されている。FAPS でこの小数值の降水量データを読み取ると、整数型変数に保存される際に丸め誤差が生じ、計算される機械作業可能時間、さらには最適解に少なからず影響を及ぼすこととなる。

たとえば、先ほどの事例モデルをもとに、FAPS に合わせて 2006 から 2015 年までの 10 年間について、DSCP と FAPS で機械作業可能時間をそれぞれ計算すると、表 3-5 のような出力結果となる。利用する時間降水量データは 2007 年まで整数値で示されていたため、DSCP と FAPS の計算結果は 2006～2007 年の間は全て一致する。しかしながら、2008 年以降の降水量データには小数值が含まれていたため、FAPS では丸め誤差が発生し、DSCP と FAPS で機械作業可能時間が異なる箇所が現れる。

表 3-6 は DSCP と FAPS で計算した 2006 年から 2015 年までの各年次の機械作業可能時間の制約のもとで求めた最適解を比較したものである。2008 年と 2012 年で両者の最適解が異なっている。

このように両者の間では、精緻化された降水量データの取り扱いが異なるた

め、機械作業可能時間、さらにその結果としての数理計画モデルの最適解も異なる可能性が生じる。つまり、DSCP では、現在のデータ形式に対応することによって、より精緻な計算を実行することができる。

第5節 小括

本章では、研究者等、数理計画モデルにある程度精通した利用者が、土地利用型農業における経営評価場面において降雨リスクを考慮した数理計画モデルを効率的に分析できるようにするため、Excel のアドイン形式のプログラム DSCP を開発した³。DSCP は、時間降水量データによる機械作業可能時間の計算と数理計画モデルへの組み込み（単体表への追加）作業を自動化するとともに、XLP の LP 計算機能を利用して、様々な降雨パターンの制約のもとで最適解を一括計算することができる。よって、DSCP は、降雨状況の違いによる最適解シミュレーションを効率的に実行するツールであるといえる。また、既存のプログラムとは異なり、対象降雨期間に上限がないため、ユーザーの利用場面に合わせて柔軟な分析が可能となるほか、精緻化された降水量データを利用できるため計算結果の精度向上も図られている。

次章では、本章で開発した DSCP を用いて、さらに実践的な降雨リスクの検討方法の適用による経営計画策定方策を検討する。

³ DSCP については、マニュアルなどを整理した上で、一般利用者に公開する予定である。

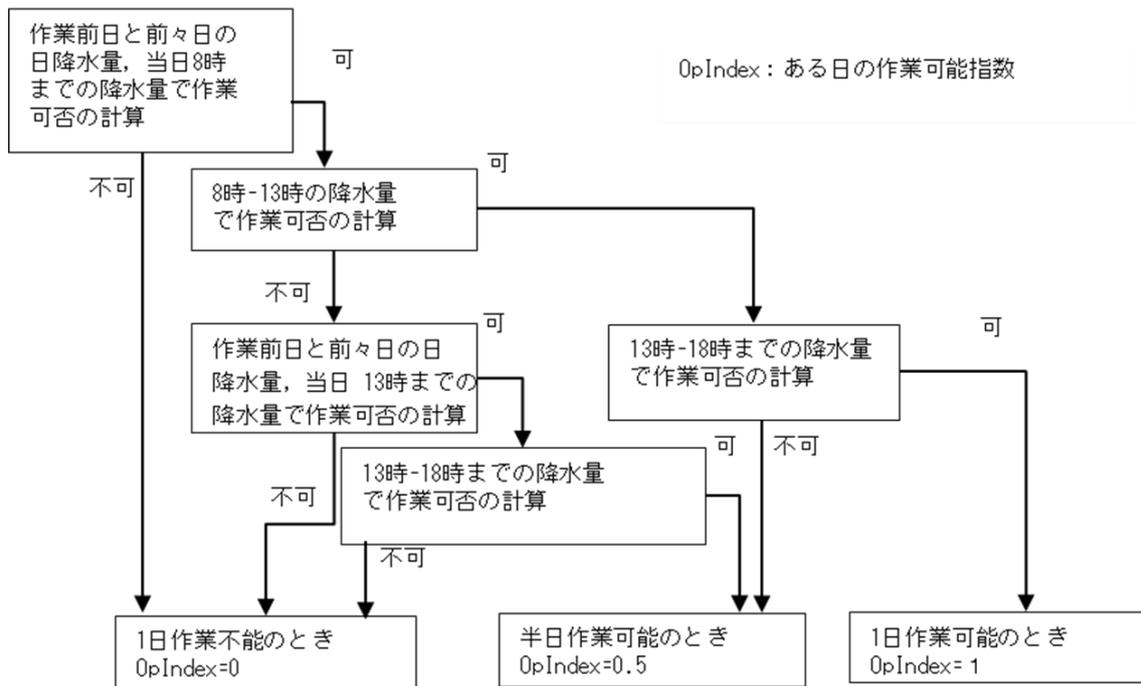


図 3-1 時間降水量データによる作業可否判定のフローチャート

注：南石ら（1997）が提示した機械作業可否判定の方法である。

[DSCP]

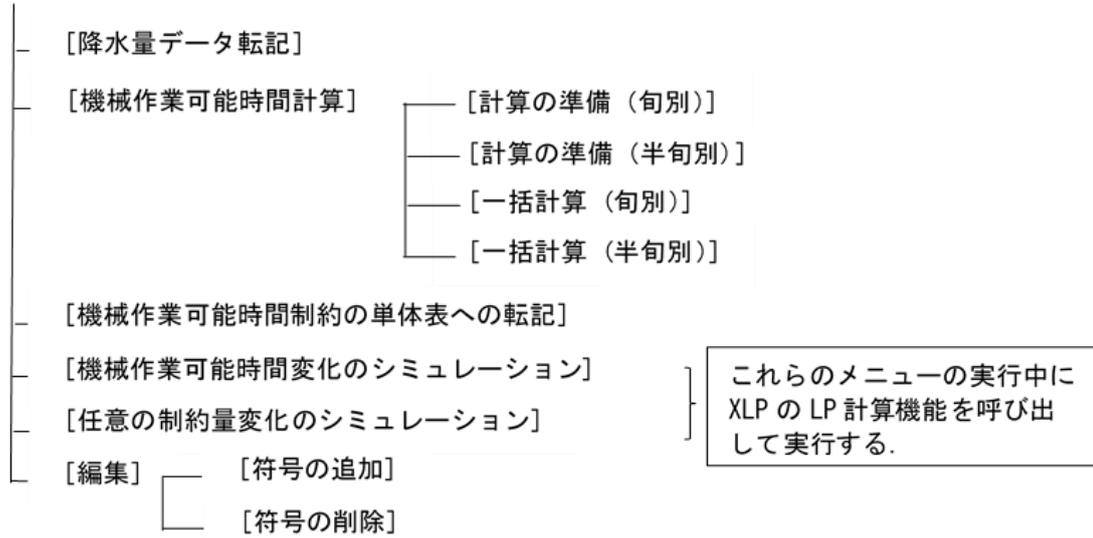


図 3-2 DSCP のメニュー体系

	A	B	C	D	E
1	ダウンロードした時刻：2017/04/08 09:21:13				
2					
3		五所川原	五所川原	五所川原	
4	年月日時	降水量(mm)	降水量(mm)	降水量(mm)	
5			品質情報	均質番号	
6	2001/1/1 1:00	0	8	1	
7	2001/1/1 2:00	0	8	1	
8	2001/1/1 3:00	0	8	1	
9	2001/1/1 4:00	0	8	1	
10	2001/1/1 5:00	3	8	1	
11	2001/1/1 6:00	3	8	1	
12	2001/1/1 7:00	1	8	1	
13	2001/1/1 8:00	0	8	1	
14	2001/1/1 9:00	0	8	1	
15	2001/1/1 10:00	0	8	1	
16	2001/1/1 11:00	0	8	1	



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	年	月	日	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時
2	2001	1	1	0	0	0	0	3	3	1	0
3				2	1	0	0	0	0	0	0
4				3	0	0	1	0	0	0	0
5				4	0	0	0	0	0	0	0
6				5	0	0	0	0	0	0	0
7				6	0	1	0	3	2	3	3
8				7	0	0	1	0	1	0	0
9				8	0	0	0	0	0	0	0
10				9	0	0	0	0	0	0	0
11				10	0	0	1	0	0	0	0
12				11	0	0	0	0	0	0	0
13				12	0	0	0	0	0	0	0
14				13	1	0	0	0	0	1	1
15				14	1	1	1	0	1	0	0
16				15	2	0	1	2	3	1	0

ダウンロードした時間降水量データ

DSCP のデータ形式に変換したシートを自動作成

図 3-3 時間降水量データの転記作業

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	機械作業種類と作業時期と作業可能降水量を入力してください							
2								
3	機械名称	作業略称	作業時期	機械台数	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)
4	V溝播種機 4条	水稻播種	4月下旬	1	0	3	15	30
5	湛水条播機 4条	水稻播種	5月上旬	1	3	5	30	50
6	田植機	水稻田植	5月中旬	1	5	10	30	50
7	田植機	水稻田植	5月下旬	1	5	10	30	50
8	自脱型コンバイン4条	水稻収穫	9月下旬	1	1	3	15	25
9	自脱型コンバイン4条	水稻収穫	10月上旬	1	1	3	15	25
10	大豆播種機 4条	大豆播種	5月下旬	1	1	3	15	30
11	大豆播種機 4条	大豆播種	6月中旬	1	1	3	15	30
12	大豆播種機 4条	大豆播種	10月中旬	1	0	0	0	0

図 3-4 「作業可能降水量」シートの入力例

注：ユーザーは 4 行目から機械名称，作業略称等を入力する。

	A	B	C	D	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	
1	【単体表】																	
2					39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
3				関係	水稲転作看做面積	保全・調整水田	水稲:まっぐら:鉄口乾直	水稲:まっぐら:鉄口溝直	水稲:飼料米:V溝乾直	水稲:飼料米:移植	水稲:飼料米:疎植	大豆:おおよず:慣行	大豆:おおよず:晩播狭畦	小麦:ねばりこし:大豆立毛間	枝豆:福丸:高畝	枝豆:毛豆:高畝		
4	0	利益係数			0	0	4.6728	2.1753	5.9359	10.1145	10.1867	7.5625	5.3679	7.1599	25.8197	30.1205		
102	98	臨時雇用時間上限 9月中旬	288 >		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
103	99	臨時雇用時間上限 9月下旬	288 >		0	0												
104	100	臨時雇用時間上限 10月上旬	288 >		0	0												
105	101	臨時雇用時間上限 10月中旬	284.4 >		0	0												
106	102	臨時雇用時間上限 10月下旬	300 >		0	0												
107	103	臨時雇用時間上限 11月上旬	252 >		0	0												
108	104	臨時雇用時間上限 11月中旬	241.2 >		0	0												
109	105	臨時雇用時間上限 11月下旬	230.4 >		0	0												
110	106	臨時雇用時間上限 12月上旬	223.2 >		0	0												
111	107	臨時雇用時間上限 12月中旬	219.6 >		0	0												
112	108	臨時雇用時間上限 12月下旬	244 >		0	0												
113																		
114																		
115																		
116																		
117																		
118																		

転記する機械作業可能時間のパターンを選択してください

機械作業可能時間のパターン

- 平均値
- 最小値
- 最大値
- 1年目
- 2年目
- 3年目
- 4年目
- 5年目

OK

図 3-5 単体表に転記する機械作業可能時間のパターンの選択

注：作物プロセス名が記入されているセル範囲を選択し、[機械作業可能時間制約の単体表への転記]機能を実行すると、「転記する機械作業可能時間のパターンを選択してください」というポップアップウィンドウ表示される。

	A	B	C	D	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC
1	【単体表】															
2					40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
3				関係	保水・調整水田	水稲:まっしぐら:V溝乾直	水稲:まっしぐら:鉄口湛直	水稲:飼料米:V溝乾直	水稲:飼料米:移植	水稲:飼料米:疎植	大豆:おおすず:慣行	大豆:おおすず:晩播狭畦	ねばりごし:大豆立毛間	枝豆:福丸:高畝	枝豆:毛豆:高畝	
4	0	利益係数			0	4.6723	2.1753	5.8359	10.115	10.187	7.5625	5.3679	7.1599	25.8197	30.1205	
112	108	臨時雇用時間上限 12月下旬	244	>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113		機械作業制約V溝播種機4条水稲播種4月下旬	62.4			0.3	0	0.315	0	0	0	0	0	0	0	0
114		機械作業制約湛水条播機4条水稲播種5月上旬	74.67			0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115		機械作業制約田植機水稲田植5月中旬	77.6			0	0	0	0.4	0.495	0	0	0	0	0	0
116		機械作業制約田植機水稲田植5月下旬	84.27			0	0	0	0.4975	0.4	0	0	0	0	0	0
117		機械作業制約自脱型コンバイン4条水稲収穫9月下旬	60.8			0.2493	0.4886	0.3071	0.36	0.36	0	0	0	0	0	0
118		機械作業制約自脱型コンバイン4条水稲収穫10月上旬	50.93			0.2493	0.4886	0.3071	0.36	0.36	0	0	0	0	0	0
119		機械作業制約大豆播種機4条大豆播種5月下旬	74.93			0	0	0	0	0	0.3125	0	0	0	0	0
120		機械作業制約大豆播種機4条大豆播種6月中旬	65.87			0	0	0	0	0	0	0.5663	0	0	0	0

図 3-6 作業可能時間転記を実行した後の単体表の例

注：赤い枠の部分は追加された機械作業制約である。黄色のセル範囲内にある数値例のように、ユーザーが各作物に必要な機械作業の作業係数を入力する。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		最適所得	水稻： まっしぐ ら：V溝 乾直	水稻： まっしぐ ら：鉄コ 湛直	水稻：飼 料米：V 溝乾直	水稻：飼 料米：移 植	水稻：飼 料米：疎 植	大豆：お おすず： 慣行	大豆：お おすず： 晩播狭畦	小麦：ね ばりご し：大豆 立毛間	枝豆：福 丸：高畝	枝豆：毛豆： 高畝	
2	1年目計算結果	2221.393	0	0	0	0	133.333	188.19	0	72.496	1.963	4.018	
3	2年目計算結果	2143.495	0	0	0	0	100	199	0	95.106	1.683	4.211	
4	3年目計算結果	2170.187	0	0	0	0	111.111	199.985	0	83.052	1.658	4.195	
5	4年目計算結果	2056.449	0	0	0	0	111.111	128	51.791	102.894	2.18	3.982	
6	5年目計算結果	2170.187	0	0	0	0	111.111	199.985	0	83.052	1.658	4.195	
7	6年目計算結果	2102.4	0	0	0	0	100	201.632	20.23	72.593	1.092	4.453	
8	7年目計算結果	2301.279	0	0	0	142.439	30.352	176.039	0	45.096	2.277	3.797	
9	8年目計算結果	2294.897	0	0	0	68.421	98.246	223.567	0	4.404	1.048	4.315	
10	9年目計算結果	2221.393	0	0	0	0	133.333	188.19	0	72.496	1.963	4.018	
11	10年目計算結果	2195.76	0	0	0	0	122.222	192	0	79.829	1.864	4.084	
12	11年目計算結果	2222.372	0	0	0	0	133.333	209.418	0	51.593	1.414	4.243	
13	12年目計算結果	1794.667	0	0	0	0	133.333	94.095	17.264	94.095	3.95	3.785	

図 3-7 「最適解一覧」シート計算結果の例

注：各作物プロセスの下にある数値はその作付面積である。

	A	B	C	D	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS
1	【単体表】											
2					34	35	36	37	38	39	40	41
3				関係	臨雇用12上	臨雇用12中	臨雇用12下	水稻作付面積	作物転作面積	水稻耕作面積	保全・調整水田	水稻・ましくら・V溝乾直
4	0	利益係数			-0.125	-0.125	-0.125	0	0	0	0	4.6723
116	112	機械作業制約田植機水稻田植5月下旬		88								0
117	115	機械作業制約大豆播種機4条大豆播種5月下旬		84								0
118	116	機械作業制約大豆播種機4条大豆播種6月中旬		80								0
119	113	機械作業制約自脱型コンバイン4条水稻収穫9月下旬		80								
120	114	機械作業制約自脱型コンバイン4条水稻収穫10月上旬		64								
121	117	機械作業制約汎用コンバイン4条大豆収穫10月中旬		80								
122	118	機械作業制約汎用コンバイン4条大豆収穫11月上旬		69.35								
123	119	機械作業制約立毛間播種機4条小麦播種9月下旬		80								
124	120	機械作業制約汎用コンバイン4条小麦収穫7月上旬		80								
125	121	機械作業制約トラクター100ps 枝豆播種5月下旬		84								
126	122	機械作業制約トラクター100ps 枝豆播種6月上旬		80								
127												
128												
129												
130												

	A	B	C	D	E	F
1						
2	自脱型コンバイン4条水稻収穫9月下旬	80	48	52	40	80
3	自脱型コンバイン4条水稻収穫10月上旬	48	36	40	56	40
4	汎用コンバイン4条大豆収穫10月中旬	56	60	60	80	60
5	汎用コンバイン4条大豆収穫11月上旬	54.75	29.2	62.05	32.85	40.15
6	立毛間播種機4条小麦播種9月下旬	80	48	52	40	80
7						
8						

図 3-8 任意の制約量変化のシミュレーション時の変更項目の設定例

注：「変動項目」シートの B 列からの各列は変動パターンの例で、各数値は旬別機械作業可能時間である。

表 3-1 各プロセスの変動費及び収益性

作物	品種	技術体系	移植（播種）時期	収量（kg/10a）	単価（円/kg）	補助金（円/10a）	粗収益（万円/10a）	変動費（万円/10a）	利益係数（万円/10a）
水稲	まっしぐら 主食米	V溝直播	4月下旬	543	122	30,152	9.64	4.97	4.67
水稲	まっしぐら 主食米	鉄コーティング 直播	5月上旬	462	122	30,152	8.65	6.48	2.17
水稲	飼料米	V溝直播	4月下旬	600	20	96,160	10.82	4.98	5.84
水稲	飼料米	移植	5月中旬	705	20	118,675	13.28	3.16	10.12
水稲	飼料米	疎植	5月中旬	691	20	116,057	12.99	2.80	10.19
大豆	おおすず	慣行	5月下旬	230	324	35,000	10.95	3.39	7.56
大豆	おおすず	晩播狭畦	6月中旬	166	324	35,000	8.88	3.51	5.37
小麦	ネバリゴシ	大豆立毛間	9月下旬	348	137	50,000	9.77	2.61	7.16
枝豆	福丸	高畝	5月下旬	608	597.6	0	36.33	10.51	25.82
枝豆	毛豆	高畝	6月下旬	647	616.5	0	39.89	9.77	30.12

表 3-2 DSCP で計算した機械作業可能時間の種々のパターンの最適解

機械作業可能時間のパターン	農業所得 (万円)	水稲飼料米 V溝乾直 (10a)	水稲飼料米疎植 (10a)	大豆慣行 (10a)	大豆晩播狭畦 (10a)	小麦(大豆立毛 間) (10a)	枝豆福丸 (10a)	枝豆毛豆 (10a)
2001年	2,221.4	0.0	133.3	188.2	0.0	72.5	2.0	4.0
2002年	2,143.5	0.0	100.0	199.0	0.0	95.1	1.7	4.2
2003年	2,170.2	0.0	111.1	200.0	0.0	83.1	1.7	4.2
2004年	2,056.7	0.0	111.1	128.0	51.8	102.9	2.2	4.0
2005年	2,170.2	0.0	111.1	200.0	0.0	83.1	1.7	4.2
2006年	2,102.4	0.0	100.0	201.6	20.2	72.6	1.1	4.5
2007年	2,250.7	0.0	145.5	214.6	0.0	34.4	1.3	4.3
2008年	2,269.6	0.0	153.5	218.0	0.0	23.0	1.2	4.3
2009年	2,221.4	0.0	133.3	188.2	0.0	72.5	2.0	4.0
2010年	2,195.8	0.0	122.2	192.0	0.0	79.8	1.9	4.1
2011年	2,222.4	0.0	133.3	209.4	0.0	51.6	1.4	4.2
2012年	1,802.7	0.0	133.3	94.1	18.9	94.1	3.9	3.8
2013年	2,191.3	18.9	161.6	94.1	24.3	94.1	3.8	3.2
2014年	2,278.1	0.0	161.6	147.9	0.0	84.0	3.0	3.5
2015年	2,229.4	0.0	137.4	174.7	0.0	81.7	2.3	3.9
15年間平均値	2,241.0	0.0	141.5	194.5	0.0	58.2	1.8	4.1
15年間最小値	1,349.9	0.0	100.0	94.1	18.9	72.6	3.9	4.5
15年間最大値	2,288.5	0.0	161.6	221.4	0.0	11.6	1.1	4.3

表 3-3 DSCP で計算した 15 年の対象降雨期間と 10 年の対象降雨期間の最適解の比較

機械作業 可能時間 のパター ン	2001 から 2015 年までの 15 年の対象降雨期間							2006 から 2015 年までの 10 年の対象降雨期間								
	農業所得 (万円)	水稲飼料 米 V 溝乾 直 (10a)	水稲飼料 米疎植 (10a)	大豆慣 行 (10a)	大豆晩 播狭畦 (10a)	小麦 (大 豆立間) (10a)	枝豆福 丸 (10a)	枝豆毛 豆 (10a)	農業所得 (万円)	水稲飼料 米 V 溝乾 直 (10a)	水稲飼料 米疎植 (10a)	大豆慣行 (10a)	大豆晩 播狭畦 (10a)	小麦 (大 豆立毛 間) (10a)	枝豆福 丸 (10a)	枝豆毛 豆 (10a)
対象年次 平均値	2,241.0	0.0	141.5	194.5	0.0	58.2	1.8	4.1	2,262.7	0.0	151.1	185.5	0.0	57.4	2.0	3.9
対象年次 最小値	1,349.9	0.0	100.0	94.1	18.9	72.6	3.9	4.5	1,349.9	0.0	100.0	94.1	18.9	72.6	3.9	4.5
対象年次 最大値	2,288.5	0.0	161.6	221.4	0.0	11.6	1.1	4.3	2,288.5	0.0	161.6	221.4	0.0	11.6	1.1	4.3

注：灰色の網掛けは 15 年と 10 年の対象降雨期間の最適解の計算結果が異なることを意味している。

表 3-4 FAPS と DSCP の特徴の比較

事項	FAPS	DSCP
数理計画モデルの生成	自動	ユーザー自身が構築
利用対象者	数理計画法の初心者・経験者	数理計画法の経験者
数理計画モデル最適解計算機能	実装	XLP の計算機能を利用
機械作業可能時間の計算	自動	自動
計算される機械作業可能時間のパターン	各年次・平均値・最小値	各年次・平均値・最小値・最大値
機械作業制約の単位	旬単位	旬・半旬単位
考慮できる対象降雨期間	最長 10 ヶ年	制限なし
考慮する降雨パターンの変化によるモデルの最適解計算	変化の度に再計算	すべてのパターンを一括計算

表 3-5 DSCP と FAPS で計算した 2006～2015 年各年次機械作業可能時間の比較（単位:時間）

機械作業種類	DSCP										FAPS										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
田植機水稲田植 5 月中旬	80	72	76	76	76	80	80	80	80	68	80	72	80	76	76	80	80	80	80	80	68
田植機水稲田植 5 月下旬	84	88	84	88	68	88	88	88	88	88	84	88	84	88	68	88	88	88	88	88	88
V 溝播種機 4 条水稲播種 4 月下旬	64	56	76	36	64	48	72	64	80	72	64	56	76	44	68	56	72	68	80	72	
湛水条播機 4 条水稲播種 5 月上旬	80	72	80	80	72	68	60	76	80	80	80	72	80	80	72	76	68	76	80	80	
自脱型コンバイン 4 条水稲収穫 9 月下旬	52	64	64	60	52	48	56	76	72	68	52	64	68	68	52	52	56	76	80	68	
自脱型コンバイン 4 条水稲収穫 10 月上旬	36	64	60	48	44	52	48	64	64	64	36	64	60	48	44	48	56	64	64	80	
大豆播種機 4 条大豆播種 5 月下旬	68	80	72	84	60	80	84	84	84	80	68	80	72	88	60	88	84	84	84	80	
大豆播種機 4 条大豆播種 6 月中旬	72	72	60	56	60	80	72	68	24	80	72	72	60	56	68	80	80	72	32	80	
汎用コンバイン 4 条大豆収穫 10 月中旬	60	72	72	56	76	64	28	28	44	52	60	72	72	56	76	64	28	28	44	52	
汎用コンバイン 4 条大豆収穫 11 月上旬	52	56	68	52	28	76	12	52	68	60	52	56	68	60	32	76	20	52	68	64	
立毛間播種機 4 条小麦播種 9 月下旬	52	64	64	68	52	48	56	76	72	68	52	64	68	68	52	52	56	76	80	68	
汎用コンバイン 4 条小麦収穫 7 月上旬	28	68	64	56	64	64	64	44	72	80	28	68	64	56	64	64	64	44	72	80	
トラクター100ps 枝豆播種 5 月下旬	68	80	72	84	60	80	84	84	84	80	68	80	72	88	60	88	84	84	84	80	
トラクター100ps 枝豆播種 6 月上旬	76	56	56	56	80	80	76	80	80	60	76	56	60	68	80	80	76	80	80	56	

注：灰色の網掛けは DSCP による計算結果と FAPS による計算結果が異なることを意味している。

表 3-6 DSCP と FAPS で計算した 2006～2015 年次の各年次機械作業可能時間の制約のもとで求めた最適解

機械作業 可能時間 のパター ン	DSCP の機械作業可能時間の制約								FAPS の機械作業可能時間の制約							
	農業所得 (万円)	水稻飼料米 V 溝乾直 (10a)	水稻飼料 米疎植 (10a)	大豆慣 行 (10a)	大豆晩播 狭畦 (10a)	小麦(大 豆立間) (10a)	枝豆福 丸 (10a)	枝豆毛 豆 (10a)	農業所得 (万円)	水稻飼料米 V 溝乾直 (10a)	水稻飼料米 疎植 (10a)	大豆慣 行 (10a)	大豆晩 播狭畦 (10a)	小麦(大 豆立間) (10a)	枝豆福 丸 (10a)	枝豆毛 豆 (10a)
2006	2,102.4	0.0	100.0	201.6	20.2	72.6	1.1	4.5	2,102.4	0.0	100.0	201.6	20.2	72.6	1.1	4.5
2007	2,250.7	0.0	145.5	214.6	0.0	34.4	1.3	4.3	2,250.7	0.0	145.5	214.6	0.0	34.4	1.3	4.3
2008	2,269.6	0.0	153.5	218.0	0.0	23.0	1.2	4.3	2,288.5	0.0	161.6	221.4	0.0	11.6	1.1	4.3
2009	2,221.4	0.0	133.3	188.2	0.0	72.5	2.0	4.0	2,221.4	0.0	133.3	188.2	0.0	72.5	2.0	4.0
2010	2,195.8	0.0	122.2	192.0	0.0	79.8	1.9	4.1	2,195.8	0.0	122.2	192.0	0.0	79.8	1.9	4.1
2011	2,222.4	0.0	133.3	209.4	0.0	51.6	1.4	4.2	2,222.4	0.0	133.3	209.4	0.0	51.6	1.4	4.2
2012	1,802.7	0.0	133.3	94.1	18.9	94.1	3.9	3.8	2,068.4	0.0	155.6	94.1	31.5	94.1	3.6	3.5
2013	2,191.3	18.9	161.6	94.1	24.3	94.1	3.8	3.2	2,191.3	18.9	161.6	94.1	24.3	94.1	3.8	3.2
2014	2,278.1	0.0	161.6	147.9	0.0	84.0	3.0	3.5	2,278.1	0.0	161.6	147.9	0.0	84.0	3.0	3.5
2015	2,229.4	0.0	137.4	174.7	0.0	81.7	2.3	3.9	2,229.4	0.0	137.4	174.7	0.0	81.7	2.3	3.9

注：灰色の網掛けは DSCP の機械作業可能時間制約による最適解計算結果と FAPS の機械作業可能時間の制約による最適解計算結果が異なることを意味している。

第4章 春・秋作業を区別した降雨リスク評価方法の提案

第1節 はじめに

土地利用型農業経営では、通常、風雨などの気象条件の影響を大きく受ける。しかも、ある水準の労働制約のもとでは、規模拡大に伴い、労働制約が厳しくなるため、作業スケジュールに余裕がなくなることにより、降雨リスクに起因して作業が遅延・不能となる状況が生じる可能性が増大する(南石・向井 1997)。事前の計画としては、過去の気象情報の利用により降雨リスクを完全に回避するケースを想定した計画だけでなく、作業不能・遅延が発生するケースを想定して、その影響を織り込んだ計画も策定し、これら複数の計画を併せて経営者に提示することが重要になる(塩谷 1999)。

本章では、生産年度の期首(春)に立案する年間を通じた作業計画と、実際に遂行される秋作業(8月下旬以降の作業)の2つに注目し、対象期間の降雨条件をそれぞれ設定することにより、秋季における機械作業可能時間制約の変動によって期末に明らかとなる最適作付計画に注目する。具体的に、経営主(意思決定主体)は、期首(たとえば3月上旬)において2001~2015年、および平均値、最小値、最大値からなる18パターンのうちのいずれかの年間降雨条件を前提とした当該生産年度の作付計画を策定すると仮定する。次に、期首に策定した作付計画どおりに春作業が遂行されたのち、8月下旬以降の秋作業については、同18パターンのいずれかの降雨条件が生じると仮定する。そして、これらの仮定をもとに、すべてのパターンにおける最適作付計画を線形計画法により求めた。

第2節 データおよび方法

1. 分析方法

降雨リスクを考慮する数理計画モデルには、秋季の作業において事前の計画と異なる降雨パターンを生じる場合、機械作業が不能・遅延となる。本章では、年間の農作業を春季の計画段階の作業(年間の作業)と秋季の作業(8月下旬

以降の作業)の2つに分類している。具体的には、まず、単体表を春季(計画)の部分と秋季(実際)のそれぞれの部分に分割し、各部分に該当する作物プロセスを設定して、秋季の機械作業可能時間以外のプロセスには同様の制約条件(土地、労働等)を課した。次に、春季(計画)の降雨条件と秋季(実際)の降雨条件をそれぞれ想定して、それらに対応した機械作業可能時間の制約を相互に独立した形で設定した。最後に、春季における計画利益最大化を目的関数とした最適化を行い、その解を前提とした上で秋季における実績利益最大化を目的関数とした最適化を行った。結果、春季における年間計画のもとの利益と各作物の作付面積、及び、秋季における実績利益と実際に収穫可能であった作付面積部分が求められた。すなわち、「春季における計画上のある作物の作付面積 \geq 秋季における実際に収穫可能であったある作物の作付面積」という制約条件が設定されている。その結果、実績利益は計画利益と同等か、下回る水準となるはずである。たとえば、春季と秋季の降雨パターンが同じなら、計画利益と実績利益が等しくなるであろう。他方、降雨パターンが異なる場合、実績利益は計画利益を下回るであろう。これは、時間の流れにより、秋季において実際に収穫可能であった作付面積は、春季における年間計画のもとの各作物の作付面積を上回ることがないためである。本章では、このような数理計画モデルを用いて、秋季作業不能・遅延が発生する可能性をモデルに織り込んで、その影響を分析することを課題とする。

さて、以上のモデルの最適化の背景では、各作物の生産費のうちの変動費部分を春作業と秋作業に関わる費用に分割する必要がある。具体的には、各作物の利益係数の計算にあたり、春と秋のプロセスを差別化した。つまり、秋のプロセスの利益係数を計算する場合には、実現した秋作業の費用の部分だけを推定するが、この値は、春季における計画上の秋作業の費用の部分とは水準が異なる可能性がある。ところで、春作業費用と秋作業費用の分け方については、農林水産省の農産物生産費統計の作物生産費データを参考にして、作物の10a当たり比例変動費用を9対1の比率に分割した。

図4-1は以上のモデルの単体表の作成例である。たとえば、春計画段階で平均年次の降雨条件を想定する。しかし、秋作業を実行するときは、ある特定年次の降雨パターンを生じる。降雨条件の変化により機械作業可能時間制約が変

わって、実績利益の変化が明らかとなる。

以上のような方法で、春季（計画段階）と秋季（結果）の降雨パターンが別々に設定して、春計画利益最大化の上に秋実績利益最大の数理計画モデルを構築した。分析のシナリオとして、春季（計画段階）において 15 年間各年次の作業別機械作業可能時間、およびそれらの平均値、最小値、最大値からなる 18 パターンの作業別機械作業可能時間のいずれかの制約を前提とした当該生産年度の作付計画を策定すると仮定する。次に、春作業を遂行するが、8 月下旬以降の秋作業については、同 18 パターンのいずれかの降雨条件が生じると仮定する。結果として、春計画となる降雨条件 18 パターンと秋に実際に発生する降雨条件 18 パターンが組み合わせることにより、 $18 \times 18 = 324$ パターンのシナリオを適用した。

2. モデルの概況

本章では、第 1 章と同様、茨城県南部の現地試験で得られたデータをもとに降雨リスクを考慮する数理計画モデルを構築する。基本モデル（モデル I）の作物プロセスは水稻移植（コシヒカリ，ふくまる），大豆（タチナガハ），小麦（さとのそら，きぬの波）である。田植機，トラクター，コンバイン，汎用コンバインを各 1 台と設定し，固定費（年間償却費）総額は 924.5 万円となった。モデル II はモデル I に，作業適期規制を緩和するため，水稻乾田直播の生産プロセスを導入したモデルである。専用の播種機も同時に導入する必要がある，その結果，固定費が 94.5 万円増大する。

降雨によって作業可能時間が制限される機械作業は，水稻，小麦，大豆の移植・播種・収穫である。各作物について作業別・旬別機械作業を設定した。利用する時間降水量データについては，試験地から一番近い観測点での 2001 年から 2015 年の 15 年間のデータを利用する。15 年間各年次の作業別機械作業可能時間，およびそれらの平均値，最小値，最大値からなる 18 パターンの作業別機械作業可能時間は表 4-2 に示している。

第3節 結果及び考察

1. 秋季降雨条件による最適比例利益総額の変化

1) モデル I

水稻乾田直播を導入していないモデル I において、借地面積制約の変化に伴う、春季の計画段階に想定する降雨条件別に秋季降雨条件の変化によって実現する比例利益総額の期待値・標準偏差・変動係数を表 4-3 に示す。借地面積の拡大によって、秋季の降雨条件による比例利益総額の期待値が大きくなり、その変動係数も大きくなることがわかる。つまり、規模拡大に伴い比例利益総額が増大するが、同時に労働制約が厳しくなるため、作業スケジュールがタイトになり、降雨の影響による作業の遅延・不能といった不測の事態が生じる可能性が大きくなることが観察される。

図 4-2 は基本モデル（モデル I）において、表 4-3 における借地面積制限なしのシナリオ下での春季の計画段階に 18 の降雨パターンのひとつを想定して、秋季の降雨条件による比例利益総額の変動を示している。最左列に位置するプロットを例として解説する。この列では、春季の計画段階に 2009 年次の年間降雨条件を前提とした当該生産年度の作付計画を策定し、その作付計画を前提として、8 月下旬以降の秋作業について 18 パターンのそれぞれの降雨条件が生じた場合の比例利益総額（18 値）の分布を示している。一番上の丸い点は計画比例利益総額の値を表す。すなわち、秋季の作業段階に春季の計画段階と同じ 2009 年の降雨条件を生じた場合の比例利益総額の値である。バツの点は、秋作業について 18 パターンのそれぞれの降雨条件が生じた場合の比例利益総額（18 値）の期待値である。他の列も同様である。すべての列について検討すると、降雨条件が相対的に良好な年度を春季計画段階に年間降雨条件として想定した場合、計画段階の比例利益総額は高くなるが、その分、秋に直面する様々な降雨条件によって規定される比例利益総額の変動リスク（箱のひげ）も大きくなるという傾向が観察される。また、15 年間の機械作業可能時間の平均値の水準時の降雨条件を計画段階に年間降雨条件として想定した場合は、その評価結果はかなり高い計画段階の比例利益総額と相対的に小さい変動リスクを表すことが考えられる。他方、春季の計画段階に 15 年間の機械作業可能時間の最大

水準の年間降雨条件を想定した場合には計画比例利益総額・変動リスクともに最大となる。そして、機械作業可能時間の最小値の水準の年間降雨条件を想定した場合には最低の計画比例利益総額・ゼロ変動リスクとなることがわかる。

2) モデルⅠとモデルⅡの比較

モデルⅠと同じ作業をモデルⅡに適用して、春季計画段階に想定する降雨パターン別に、秋季作業の気象条件変化による比例利益総額（実績利益）の平均値と標準偏差の計算結果を表4-4に示す。春季の計画段階にどの降雨パターンを想定しても、水稻乾田直播の導入により、比例利益総額の平均値は導入前の結果より高くなっていることがわかる。すなわち、水稻乾田直播の導入には所得増大効果があるといえる。しかし、その変動リスク（標準偏差）からみると、春期の計画段階に2003年、2010年及び2011年の降雨パターンを想定するとモデルⅡの比例利益総額の標準偏差はモデルⅠより小さいが、それ以外の降雨パターンを春期の計画段階に想定する場合、モデルⅡの比例利益総額の標準偏差のほうが大きい結果となっている。

表4-4の情報を利用して、横軸に比例利益総額の標準偏差、縦軸に比例利益総額の平均値をプロットしたものは図4-3である。この図において、比例利益総額の標準偏差が0であった点（Y切片）は、春季計画段階に15年間各機械作業可能時間の最小値を想定した場合である。相対的に降雨条件が良好な年度を想定した場合、秋季作業に様々な降雨条件によって規定される最適農業所得の期待値は高くなるが、その変動リスク（標準偏差）も大きくなるという傾向が観察された。モデルⅠとモデルⅡは同じ傾向を示していることが観察される。傾向線は、比例利益総額の期待値とそれらの標準偏差の相関関係を表している。この傾向線の傾きが大きくなればなるほど、比例利益総額の期待値の1単位の変化を補償するその標準偏差の変化分が小さい。

降雨リスクの視点から水稻乾田直播の導入効果を評価するため、図4-3の方法によって両モデルの比例利益総額の期待値と標準偏差の相関関係（傾向線の傾き）を推定した（第4-5表）。結果、モデルⅡの傾向線の傾きはモデルⅠより小さいことがわかる。つまり、このことは、水稻乾田直播の導入により比例利益総額の期待値の1単位の変化を補償するその標準偏差の変化分が拡大することを示しており、水稻乾田直播の導入に従って、降雨リスクへの対応の必要性

が高くなることわかる。

3) モデルⅡにおける秋季の降雨条件変化による作付面積の変化

表 4-6 は、モデルⅡを対象として、春季の計画段階に想定する降雨パターン別に、秋季における 18 パターンそれぞれの降雨条件が生じた場合、作物の作付面積が春計画段階より 20%以上減少した回数を示している。まず、春季に最も厳しい降雨パターンを想定し、機械作業可能時間の最小値を制約とする場合、秋季にどんな降雨パターンを生じたとしても、各作物の作物の作付面積が変化していない。これは降雨リスクを完全に回避可能な計画であるが、得られる収益水準は最も低く計画でも有る。他方、機械作業可能時間の最小値制約の場合以外では、春季段階にどの降雨パターンを想定しても、秋季の降雨条件により作物の作付面積が計画面積より 20%減少する可能性がある。

作物別にみると、水稻乾田直播の作付面積について、秋季の降雨条件により作付面積が計画より 20%以上減少になる回数が一番高い結果となっている。特に、水稻コシヒカリ乾直 4 月中旬のプロセスでは、水稻コシヒカリ移植 5 月中旬プロセスの収穫時期に作業競合（9 月下旬）が存在する。これらのプロセス間では、秋季の降雨条件の変動により、利益係数が相対的に高いの移植プロセスよりも、相対的に低い水稻コシヒカリ乾直 4 月中旬のプロセスのほうが、作付面積が変動しやすいことがわかる。また、水稻ふくまる移植 5 月中旬のプロセスについても、作付面積の変動が激しい。このプロセスは同じ品種の 5 月上旬移植のプロセス、及び水稻コシヒカリ移植 4 月下旬プロセスとの間に収穫時期の作業競合（9 月下旬）が存在する。つまり、相対的に利益係数が低い水稻ふくまる移植 5 月中旬のプロセスは秋季の降雨条件により、その作付面積が変動しやすいことがわかる。一方で、小麦きぬの波 11 月上旬のプロセスの播種作業には大豆タチナガハ 7 月中旬プロセスの収穫作業との間で作業競合が存在する。結果、秋季の降雨条件により、利益係数が相対的に低い小麦の作付面積が変動しやすいことがわかる。

2. 秋季の稼働時間が制約条件の上限に達している機械作業の限界収益力

機械作業可能時間は降雨条件に影響される。降雨条件の変動により、秋季の機械作業が計画段階のものから乖離し、収益が減少する可能性が高い。表 4-7

は春季の計画段階に想定する降雨パターン別に、秋季に様々な降雨パターンが生じた場合に計算されたそれぞれの最適作付計画の中で、稼働時間が制約条件の上限に達している機械作業の回数、及び、その限界収益力の最大値、最小値平均値を示すものである。ここで、機械作業の限界収益力とは、機械作業の稼働時間は制約条件の上限値に達しているときに、その作業に追加的に1時間増した場合に得られる実績利益の変化分と定義する⁴。

まず、春季に機械作業可能時間最小値制約を想定するならば、秋にどんな降雨パターンが起こっても稼働時間が制約条件の上限に達している機械作業は存在しない。また、小麦11月上旬の播種作業はどの降雨パターンにおいてもその上限に達していない。これは、同じ11月上旬時期に小麦播種作業と大豆の収穫作業が存在するが、小麦より利益係数の高い大豆の作付面積が優先的に選択されているからである。他方、大豆11月上旬の収穫作業時間がその上限に達している場合が最も多い。この他、水稻9月下旬と9月上旬の収穫作業の作業時間も比較的多くそれらの上限に達している。いすらも、複数の作業が時期的に競合する時期にあたっている。つまり、時期的な競合が顕著であるほど、天候不順により適期内で作業ができなくなるリスクが高いことが確認できる。

次に、限界収益力をみると、トラクター小麦播種11月中旬作業において、春季に2007年の降雨パターンを想定するならば、秋季の降雨パターンに応じた限界収益力は最小値で0.1万円、最大値で9.8万円である。秋季には2006年の降雨パターンが生じた場合、トラクター小麦播種11月中旬作業の限界収益力は0.1万円である、このとき、秋季の小麦11月中旬の播種作業時間が1時間拡大すれば、小麦きぬの波11月中旬のプロセスの作付面積が2.7ha拡大できる。しかし、同時に、秋季の降雨条件によって大豆の収穫作業が遅延することにより、小麦の前作である大豆が圃場を占有しているため、小麦きぬの波11月上旬のプロセスの作付面積が2.7ha減少することとなる。これは小麦きぬの波11月中旬のプロセスの作付面積の増加分と相殺して、結果として収益が0.1万

⁴ 具体的には、まず、分析対象となる単体表に線形計画法を適用した結果（初期解）において、秋季の機械作業時間の残量が0となる制約条件について、この単体表上でこの作業の制約量だけを1時間増大させる。次に、この単体表から得られる最適解を推定する。そして、この最適解を初期解と比較したときの秋季段階の実績利益の変化分を限界収益力の推定値とする。

円しか増えない。秋季には 2006 年以外の降雨パターンが生じた場合には、大豆の影響がないから、11 月中旬の小麦播種作業時間を 1 時間拡大したら、小麦の面積が 2.7ha 拡大可能となり、収益は 9.8 万円増大する。

一方で、春季の計画段階に 2005 年の降雨パターンを想定した場合、秋季の降雨条件によって小麦 11 月中旬の播種作業の時間が制約条件の上限に達する回数は 10 回で、秋季の降雨パターンに応じた限界収益力は最小値で 0.8 万円、最大値で 9.8 万円となっている。具体的にいうと、秋季に機械作業可能時間最小値制約が生じたとした場合、小麦 11 月中旬の播種作業の限界収益力は最も小さく、0.8 万円となる。これは同じく大豆の作付面積の制約で小麦の収穫作業の時間を 1 時間拡大しても、その作付面積が 0.2ha しか拡大できないからである。

秋季の降雨条件によって機械作業時間が制約条件の上限に達している回数が最も多いのは、春季の計画段階に 2008 年の降雨パターンを想定した場合の水稲の 9 月上旬の収穫作業で、16 回発生している。

大豆について、10 月下旬の収穫作業時間を 1 時間拡大すれば、大豆 7 月上旬のプロセスの収穫面積が 2.7ha 拡大可能となり、収益も 18.9 万円増大する。2001 の降雨パターンを春季の計画段階に想定し、秋季に機械作業可能時間平均値制約の降雨パターンが生じたとすると、大豆の収穫できる面積が計画より 0.7ha 減少し、その収穫時間を 1 時間拡大しても、収穫面積が 0.7ha しか広げられなくて、収益は 4.8 万円しか増大しない。また、2007 年の降雨パターンを春季の計画段階に想定した場合、最適作付計画では大豆と小麦の耕作面積が等しくなる。しかし、秋に 2006 年の降雨パターンが生じたら場合、大豆収穫 10 月下旬の作業時間が降雨に影響され、収穫できる面積が減少した。このとき、小麦播種作業が降雨に影響されなくても、大豆の圃場占用のため、小麦の播種できる面積が影響される。大豆の収穫作業時間 1 時間増やせば、大豆の収穫できる面積が 2.7ha 増加と同時に、小麦の播種面積も 2.7ha 増加でき、よって、大豆収穫 10 月下旬作業の限界収益力が 28.4 万円になる。大豆収穫 11 月上旬作業について、大豆収穫 10 月下旬作業と同じである。

第4節 小括

本章では、生産年度の期首（春）に立案する年間を通じた作業計画と、実際に遂行される秋作業（8月下旬以降の作業）の2つに分類し、対象期間の降雨条件をそれぞれ設定することにより、秋季における機械作業可能時間制約の変動によって期末に明らかとなる最適作付計画に注目して、最適作付計画の変化を分析した。

まず、春季における計画利益最大化のもとでの秋季の実績利益最大を規範とした数理計画モデルを利用して、春と秋に様々な降雨パターンを想定し、それぞれ最適計画利益と計画作付面積、及び実績利益と実績作付面積を求めた。結果、春季の計画段階に相対的に良好な降雨条件を年間降雨条件として想定した場合、計画段階の利益は高くなるが、その分、秋季に直面する様々な降雨条件によって実現する実績利益の変動リスクも大きくなるという傾向が認められた。

また、水稻乾田直播という新技術の導入に従い、春季の計画段階にどの降雨パターンを想定した場合でも所得増大効果が観察されたが、導入前の結果と比べて、比例利益総額の期待値の1単位の変化を補償するその標準偏差の变化分が大きいことがわかった。よって、水稻乾田直播の導入に従って、収益を増加することが期待できるが、降雨リスクへの対応の必要性が高くなるといえる。

また、秋季の作業時間が制約条件の上限に達している機械作業の回数（頻度）及びその限界収益力を推定した。これらの知見は、降雨リスクを想定した作業スケジュールの調整、あるいは、外部化戦略（作業委託等）の場面において利用可能となることが期待できる。

表 4-1 各プロセスの利益係数

作目等	水稲	水稲	水稲	小麦	小麦	大豆
作型	移植	移植	乾田直播	不耕起	不耕起	不耕起
品種	コシヒカリ	ふくまる	コシヒカリ	さとのそら	きぬの波	タチナガハ
移植・播種時期	4月下-5月中	4月下-5月中	4月中-4月下	11月上-11月中	11月上-11月中	7月上-7月中
販売収入(円/10a)	95,680	93,000	90,160	7,140	7,140	21,060
単位収量(kg/10a)	520	600	490	238	258	162
販売単価(円/kg)	184	155	184	30	30	130
交付金収入(円/10a)	0	0	0	39,990	42,090	66,428
変動費(円/10a)	23,114	24,306	31,414	13,585	14,138	9,924
春作業費用	20,803	21,875	28,273	12,227	12,724	8,932
秋作業費用	2,311	2,431	3,141	1,359	1,414	992
春のプロセスの利益係数(円/10a)	72,566	68,694	58,746	33,545	35,692	77,564
秋のプロセスの利益係数(円/10a)	93,369	90,569	87,019	33,545	35,692	86,496

注：各作物の春のプロセスの利益係数は、販売収入と交付金収入の合計から変動費を差し引いたものである。各作物の秋のプロセスの利益係数は、販売収入と交付金収入の合計から秋作業費用を差し引いたものである。

【単体表】												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
	定数項	関係	春計画利益	秋収穫後の確定利益	春の作物プロセス(計画)			秋の作物プロセス(実績)				
0	利益係数		1000	1								
1	計画利益の算定式	=	-1		利益係数	利益係数	利益係数					
2	実績利益の算定式	=		-1	春作業費用	春作業費用	春作業費用	利益係数	利益係数	利益係数		
	以下、春労働制約など											
7	春N年間平均年次の降雨制約1											
8	春N年間平均年次の降雨制約2											
9	春N年間平均年次の降雨制約3											
10	秋作業プロセス面積 ≤ 春作業プロセス面積1				-1			1				
11	秋作業プロセス面積 ≤ 春作業プロセス面積2					-1			1			
12	秋作業プロセス面積 ≤ 春作業プロセス面積3						-1			1		
	以下、秋労働制約など											
18	特定年次の降雨制約1											
19	特定年次の降雨制約2											
20	特定年次の降雨制約3											

図 4-1 春季と秋季の降雨の年次パターンが異なる線形計画モデル

表 4-2 18 パターンの作業別機械作業可能時間（単位：時間）

降雨パターン	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	平均値	最小値	最大値
トラクター90ps 小麦播種 11月上旬	47.5	69.4	62.1	65.7	58.4	73.0	62.1	73.0	73.0	65.7	69.4	65.7	69.4	62.1	36.5	63.5	36.5	73.0
トラクター90ps 小麦播種 11月中旬	56.8	71.0	60.4	46.2	67.5	53.3	63.9	67.5	39.1	63.9	49.7	63.9	67.5	67.5	53.3	59.4	39.1	71.0
汎用コンバイン 3.6m 大豆収穫 10月下旬	57.8	53.9	53.9	46.2	77.0	46.2	53.9	61.6	61.6	38.5	61.6	57.8	42.4	65.5	84.7	57.5	38.5	84.7
汎用コンバイン 3.6m 大豆収穫 11月上旬	40.2	69.4	62.1	58.4	54.8	73.0	58.4	73.0	73.0	58.4	62.1	65.7	65.7	62.1	29.2	60.3	29.2	73.0
コンバイン 15条水稻収穫 8月下旬	44.0	72.0	72.0	60.0	44.0	88.0	72.0	20.0	80.0	88.0	36.0	88.0	72.0	64.0	76.0	65.1	20.0	88.0
コンバイン 15条水稻収穫 9月上旬	56.0	40.0	68.0	68.0	68.0	64.0	32.0	72.0	64.0	68.0	48.0	44.0	32.0	48.0	40.0	54.1	32.0	72.0
コンバイン 15条水稻収穫 9月中旬	52.0	40.0	72.0	80.0	60.0	24.0	48.0	28.0	76.0	56.0	72.0	56.0	48.0	68.0	48.0	55.2	24.0	80.0
コンバイン 15条水稻収穫 9月下旬	56.0	56.0	40.0	36.0	64.0	52.0	60.0	40.0	80.0	24.0	56.0	40.0	76.0	80.0	72.0	55.5	24.0	80.0
コンバイン 15条水稻収穫 10月上旬	48.0	40.0	80.0	16.0	40.0	36.0	60.0	40.0	20.0	60.0	48.0	48.0	48.0	48.0	60.0	46.1	16.0	80.0
汎用コンバイン 3.6m 小麦収穫 6月中旬	36.0	40.0	64.0	60.0	68.0	44.0	64.0	72.0	72.0	40.0	32.0	56.0	44.0	40.0	44.0	51.7	32.0	72.0
汎用コンバイン 3.6m 小麦収穫 6月下旬	72.0	44.0	44.0	76.0	72.0	72.0	60.0	24.0	32.0	48.0	76.0	48.0	32.0	20.0	52.0	51.5	20.0	76.0
トラクター90ps 大豆播種 7月上旬	60.0	44.0	20.0	80.0	8.0	8.0	40.0	32.0	48.0	12.0	60.0	24.0	56.0	0.0	0.0	32.8	0.0	80.0
トラクター90ps 大豆播種 7月中旬	56.0	28.0	44.0	52.0	56.0	20.0	24.0	80.0	80.0	68.0	64.0	36.0	40.0	32.0	44.0	48.3	20.0	80.0
トラクター90ps 水稻播種 4月中旬	64.0	56.0	44.0	72.0	52.0	40.0	40.0	28.0	52.0	12.0	40.0	16.0	64.0	76.0	24.0	45.3	12.0	76.0
トラクター90ps 水稻播種 4月下旬	56.0	76.0	68.0	32.0	36.0	40.0	52.0	56.0	36.0	28.0	16.0	32.0	24.0	60.0	72.0	45.6	16.0	76.0
田植え機 8条水稻田植 4月中旬	72.0	72.0	72.0	72.0	72.0	64.0	72.0	44.0	60.0	48.0	68.0	64.0	72.0	80.0	56.0	65.9	44.0	80.0
田植え機 8条水稻田植 4月下旬	68.0	76.0	76.0	64.0	68.0	72.0	72.0	76.0	44.0	44.0	52.0	64.0	56.0	72.0	80.0	65.6	44.0	80.0
田植え機 8条水稻田植 5月上旬	60.0	68.0	76.0	60.0	64.0	64.0	60.0	72.0	76.0	80.0	76.0	48.0	76.0	52.0	80.0	67.5	48.0	80.0
田植え機 8条水稻田植 5月中旬	60.0	52.0	52.0	52.0	80.0	60.0	56.0	48.0	68.0	68.0	60.0	64.0	64.0	80.0	64.0	61.9	48.0	80.0
田植え機 8条水稻田植 5月下旬	48.0	84.0	72.0	64.0	80.0	68.0	64.0	48.0	72.0	60.0	44.0	68.0	76.0	56.0	80.0	65.6	44.0	84.0

表 4-3 借地面積制約の変化による比例利益総額の標準偏差・平均値・変動係数の変化（単位：万円，％）

借地面積制限	30ha			50ha			70ha			制限なし			
	統計量	標準偏差	平均値	変動係数									
春計 画段 の 降 雨 パ ター ン	2001	199.4	2804.7	0.071	378.8	3653.7	0.104	589.8	4208.3	0.140	589.8	4208.3	0.140
	2002	203.1	2874.4	0.071	332.9	3858.4	0.086	469.4	4355.9	0.108	469.4	4355.9	0.108
	2003	174.2	2775.2	0.063	370.3	3565.5	0.104	560.7	3930.1	0.143	560.7	3930.1	0.143
	2004	135.4	2873.4	0.047	351.1	3675.3	0.096	585.7	4160.0	0.141	585.7	4160.0	0.141
	2005	246.6	2665.5	0.093	427.3	3455.1	0.124	580.8	3733.9	0.156	580.8	3733.9	0.156
	2006	128.1	2424.5	0.053	393.9	2985.7	0.132	393.5	3017.6	0.130	393.5	3017.6	0.130
	2007	196.9	2895.0	0.068	333.5	3876.4	0.086	508.1	4310.7	0.118	508.1	4310.7	0.118
	2008	163.4	2748.2	0.059	366.9	3536.9	0.104	532.0	3875.5	0.137	535.8	3874.7	0.138
	2009	233.1	2763.1	0.084	369.0	3727.2	0.099	649.5	4171.0	0.156	691.2	4280.1	0.161
	2010	180.7	2721.7	0.066	434.4	3488.9	0.125	512.8	3745.2	0.137	512.8	3745.2	0.137
	2011	239.4	2819.5	0.085	375.5	3767.8	0.100	642.9	4348.7	0.148	672.2	4435.2	0.152
	2012	173.2	2829.4	0.061	334.9	3759.4	0.089	419.5	4179.1	0.100	419.5	4179.1	0.100
	2013	146.6	2811.8	0.052	322.4	3735.1	0.086	509.3	4132.3	0.123	509.3	4132.3	0.123
	2014	175.4	2461.1	0.071	457.2	3182.7	0.144	579.0	3065.2	0.189	579.0	3065.2	0.189
	2015	74.2	2373.0	0.031	435.8	2966.5	0.147	435.8	2966.5	0.147	435.8	2966.5	0.147
	平均値	167.4	2897.0	0.058	336.7	3773.4	0.089	589.3	4311.4	0.137	589.3	4311.4	0.137
	最小値	0.0	2342.1	0.000	0.0	2400.5	0.000	0.0	2400.5	0.000	0.0	2400.5	0.000
最大値	248.9	2795.9	0.089	398.4	3579.7	0.111	701.5	4187.8	0.168	825.8	4381.3	0.188	

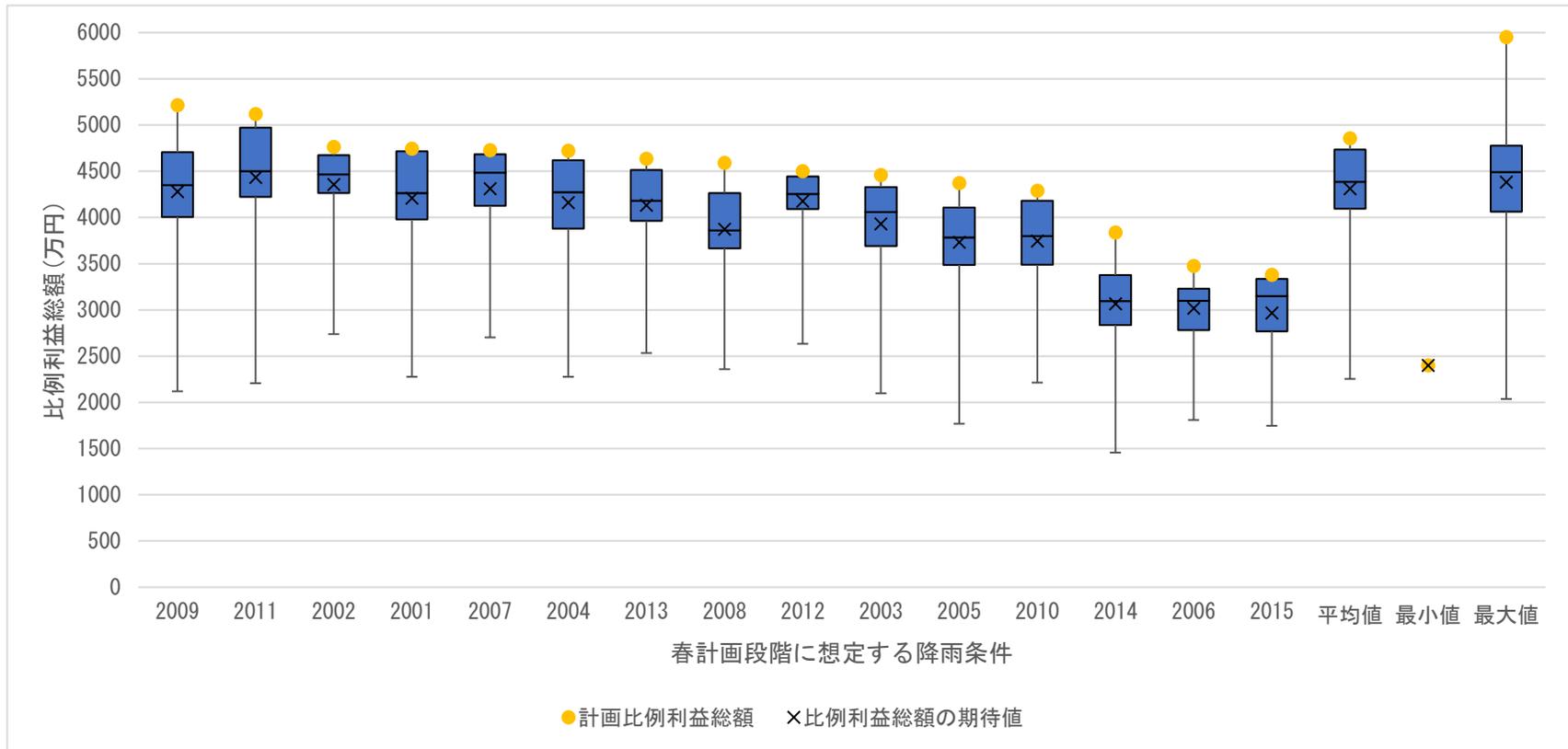


図 4-2 計画段階に定する降雨条件別に秋実際降雨条件の変化による比例利益総額の変化

表 4-4 水稻乾田直播導入の有無がモデルの秋季の平均比例利益総額と標準偏差に及ぼす影響（単位：万円）

春計画段階降雨パターン	モデルⅠ		モデルⅡ	
	標準偏差	平均比例利益総額	標準偏差	平均比例利益総額
2001	589.8	4208.3	668.0	4363.2
2002	469.4	4355.9	593.2	4513.7
2003	560.7	3930.1	587.2	4051.5
2004	585.7	4160.0	535.0	4340.8
2005	580.8	3733.9	634.0	3824.2
2006	393.5	3017.6	450.2	3206.7
2007	508.1	4310.7	675.9	4260.7
2008	535.8	3874.7	593.9	4005.9
2009	691.2	4280.1	741.0	4331.7
2010	512.8	3745.2	493.3	3843.6
2011	672.2	4435.2	627.7	4720.1
2012	419.5	4179.1	478.4	4297.6
2013	509.3	4132.3	560.8	4245.3
2014	579.0	3065.2	624.6	3240.0
2015	435.8	2966.5	505.9	3047.7
平均値	589.3	4311.4	649.1	4484.1
最小値	0.0	2400.5	0.0	2567.3
最大値	825.8	4381.3	887.8	4581.2

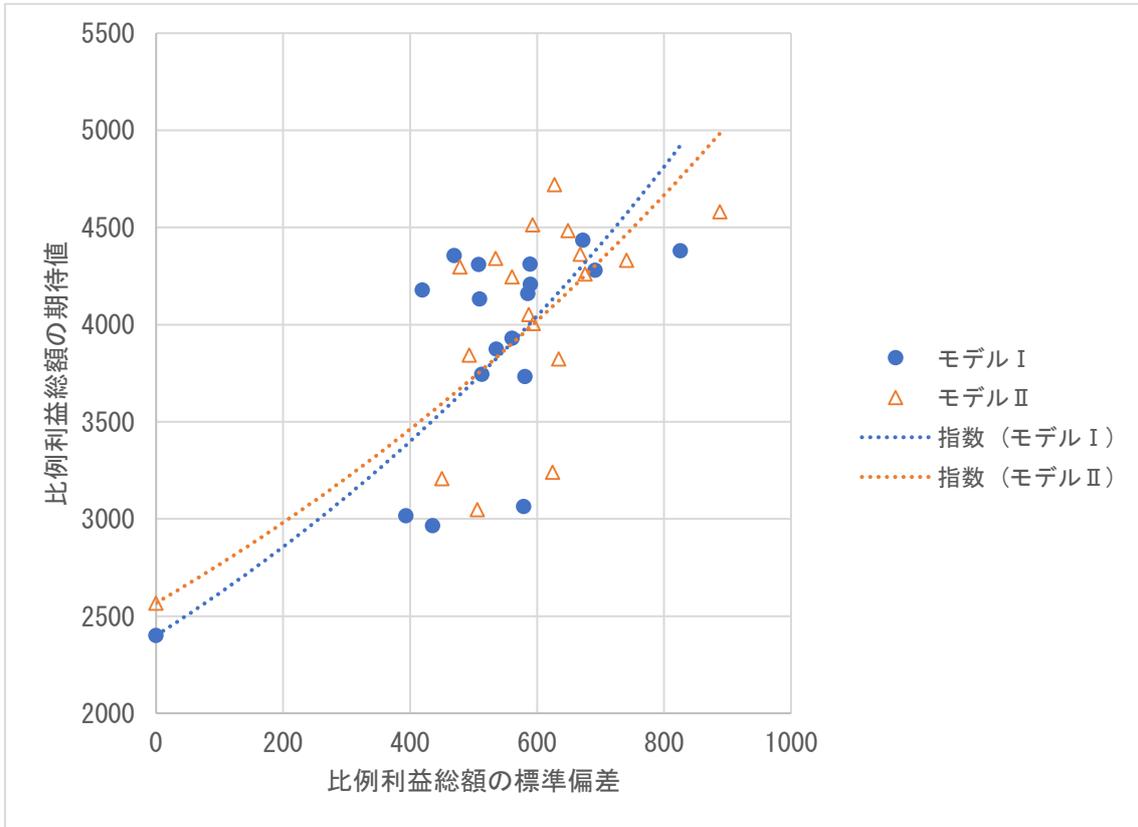


図 4-3 計画段階に想定する降雨条件別に秋実際降雨条件の変化による比例利益総額の平均値・標準偏差

表 4-5 水稻乾田直播導入前後のモデルの秋季の比例利益総額の平均値と標準偏差の相関関係

	推定値	標準誤差
モデルⅠ	2.864	0.1689
モデルⅡ	2.508	0.1457

注：標準誤差は200回反復のブートストラップ法により算出

表 4-6 春季の計画段階における作付面積より秋季の作付面積が 20%以上減少した推定結果の数（単位：回）

作物	水稻コシ ヒカリ移 植4月下 旬	水稻ふく まる移植 5月上旬	水稻ふく まる移植 5月中旬	小麦きぬ の波不耕 起11月上 旬	水稻コシ ヒカリ移 植5月上 旬	水稻コシ ヒカリ移 植5月中 旬	水稻コシ ヒカリ乾 直4月中 旬	水稻ふ くまる 移植4月 下旬	小麦きぬ の波不耕 起11月中 旬	大豆タチ ナガハ不 耕起7月 上旬	大豆タチ ナガハ不 耕起7月 中旬	水稻コシ ヒカリ乾 直4月下 旬	
計 画 段 階 の 降 雨 パ タ ー ン	2001	-	-	6	-	3	0	6	-	2	3	2	4
	2002	-	-	0	11	3	-	6	0	0	3	2	3
	2003	0	-	10	8	3	-	2	-	0	0	3	3
	2004	0	-	10	-	3	-	2	0	0	0	3	0
	2005	0	-	8	-	3	0	7	-	6	0	3	3
	2006	-	-	8	4	0	0	6	0	-	0	0	3
	2007	-	-	0	5	3	0	6	0	2	2	0	7
	2008	0	3	12	-	0	0	2	0	0	0	4	3
	2009	0	-	8	-	3	2	13	-	0	5	4	0
	2010	0	0	10	-	3	0	0	0	2	0	3	2
	2011	-	-	3	-	3	0	6	2	2	5	3	0
	2012	0	-	3	11	3	0	3	0	2	0	2	3
	2013	-	-	0	11	3	0	13	0	0	0	3	3
	2014	0	-	3	4	3	0	13	-	0	-	2	4
	2015	0	-	1	-	3	3	13	-	0	-	0	3
	平均値制約	-	-	5	-	3	0	6	0	2	0	3	4
最小値制約	0	0	-	0	0	0	-	0	0	-	0	0	
最大値制約	-	-	3	0	3	0	13	-	7	15	4	4	
合計	0	3	90	54	45	5	117	2	25	33	41	49	
作業競合	9月上旬収穫					9月下旬収穫							

注：“-”は作付していないという意味で、0は20%以上の減収率に達していないという意味である。

表 4-7 秋季の降雨条件によって稼働時間が制約条件の上限に達する機械作業の限界収益力（単位：万円/時間，回）

秋機械作業	トラクター 90ps小麦播種 11月上旬		トラクター 90ps小麦播種 11月中旬		汎用コンバイン 3.6m大豆収穫 10月下旬		汎用コンバイン 3.6m大豆収穫 11月上旬		コンバイン 15条水稲収穫 8月下旬		コンバイン 15条水稲収穫 9月上旬		コンバイン 15条水稲収穫 9月中旬		コンバイン 15条水稲収穫 9月下旬		コンバイン 15条水稲収穫 10月上旬		
計 画 段 階 に 設 定 す る 降 雨 パ タ ー ン	2001	9.8	9.8	-	-	18.9	18.9	4.8	18.9	20.7	21.3	11.0	21.3	23.0	23.2	21.8	21.9	-	-
		9.8 (6)				18.9 (2)		17.2 (9)		20.9 (8)		19.6 (8)		23.1 (3)		21.8 (9)			
	2002	9.8	9.8	-	-	8.1	18.9	18.9	18.9	20.7	21.2	11.0	21.2	23.0	23.1	21.8	21.8	-	-
		9.8 (3)				11 (13)		18.9 (5)		21 (4)		19.6 (8)		23.1 (3)		21.8 (3)			
	2003	9.8	9.8	-	-	9.8	18.9	-	-	16.1	21.3	20.8	21.3	22.7	23.2	21.9	21.9	-	-
		9.8 (3)				14.3 (8)				20 (4)		21 (3)		23 (4)		21.9 (12)			
	2004	9.8	9.8	-	-	18.8	18.9	18.7	18.9	-	-	21.2	21.3	22.6	23.2	21.8	21.9	-	-
		9.8 (2)				18.9 (4)		18.9 (3)				21.2 (2)		23 (4)		21.8 (12)			
	2005	0.8	9.8	-	-	18.9	28.6	-	-	20.8	21.3	20.7	21.3	23.1	23.2	21.8	21.9	-	-
		7 (10)				25.3 (3)				21.1 (4)		20.8 (12)		23.2 (3)		21.9 (10)			
	2006	-	-	-	-	7.6	9.8	-	-	21.1	21.2	20.7	21.2	-	-	21.8	21.9	-	-
						9.2 (11)				21.2 (3)		20.9 (6)				21.8 (10)			
	2007	0.1	9.8	-	-	9.8	18.9	18.9	28.4	20.7	21.3	20.7	21.3	22.7	23.2	-	-	-	-
		8.2 (6)				14.3 (4)		24.6 (5)		20.9 (13)		20.8 (11)		23 (4)					
	2008	-	-	-	-	18.8	18.9	18.9	18.9	20.8	21.3	20.8	21.3	23.1	23.2	21.8	21.9	-	-
						18.9 (14)		18.9 (2)		21.1 (4)		21.1 (3)		23.2 (2)		21.9 (16)			
	2009	-	-	-	-	18.8	18.9	18.7	18.9	21.2	21.3	20.7	23.2	22.7	23.2	21.8	21.9	-	-
						18.8 (14)		18.8 (11)		21.2 (2)		21.1 (15)		23 (4)		21.9 (10)			
	2010	9.8	9.8	-	-	18.9	28.5	-	-	21.2	21.3	-	-	22.7	23.2	21.8	21.9	-	-
		9.8 (4)				21.3 (4)				21.2 (3)				23 (4)		21.8 (12)			
2011	9.8	9.8	-	-	18.8	18.9	18.7	18.9	21.1	21.2	11.0	21.2	22.6	23.1	21.8	21.8	21.8	21.8	
	9.8 (3)				18.8 (8)		18.8 (11)		21.2 (2)		19.6 (8)		23 (4)		21.8 (6)		21.8 (2)		
2012	9.8	9.8	-	-	9.8	18.9	-	-	21.1	21.3	20.7	21.3	22.6	23.2	21.8	21.9	-	-	
	9.8 (4)				12.3 (11)				21.2 (3)		20.9 (3)		23 (4)		21.8 (5)				
2013	-	-	-	-	9.8	18.9	18.9	18.9	21.1	21.2	20.7	23.0	22.6	23.1	-	-	15.7	15.7	
					12.3 (11)		18.9 (2)		21.2 (3)		21 (14)		23 (4)				15.7 (2)		
2014	-	-	-	-	9.8	18.9	-	-	20.8	21.3	20.7	23.2	23.1	23.2	21.8	21.9	-	-	
					13.2 (8)				21 (8)		21.1 (15)		23.2 (3)		21.9 (6)				
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	21.3	20.8	23.2	22.7	23.2	21.9	21.9	-	-	
									16.3 (4)		21.7 (13)		23 (4)		21.9 (1)				
平均値	9.8	9.8	-	-	18.8	18.9	18.5	18.9	20.7	21.3	20.7	21.3	23.0	23.2	21.8	21.9	-	-	
	9.8 (6)				18.8 (7)		18.7 (3)		20.9 (7)		20.8 (7)		23.1 (3)		21.8 (8)				
最小値	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
最大値	9.7	9.8	-	-	18.7	18.9	18.5	18.9	20.7	21.3	20.7	23.2	23.1	23.2	21.8	21.9	-	-	
	9.8 (16)				18.8 (14)		18.7 (16)		21 (7)		21 (15)		23.2 (3)		21.9 (6)				

注：1) 限界収益力の定義については、本文を参照願いたい。

2) 計画段階に設定する降雨パターンと機械作業が交差する3つのセルについて、上段左は最小値、上段右は最大値、下段は平均値、カッコ内は当該の機械作業の稼働時間が制約条件の上限に達する秋降雨条件の数を示す

終章 本研究の要約と残された課題

稲・麦・大豆などの水田作経営では、気象条件等の自然環境が農業生産を強く規定される。一般に、経営面積の増大・新規作物の導入を実施した場合、労働制約が厳しくなるため、作業スケジュールに余裕がなくなる場合が多い。このとき、降雨の影響をうける機械作業についても、降雨量の年次変動によっては作業適期内に完了することが困難となるものが存在する、つまり、経営面積の増大・新規作物の導入を実施した場合、栽培プロセスにおいて重要となる幾つかの作業の遅延・不能といった不測の事態が生じる可能性が大きくなる。本研究では、降雨条件による機械作業可能時間の変動リスクに注目して、様々な降雨リスク水準が営農計画の最適解に与える影響を解明し、経営意思決定に資する知見の提供を目的とした。

以下、各章の議論を要約する。

第1章では、私経済的視点から考慮する降雨リスク水準が経営規模拡大の上限值に及ぼす影響を分析した。降雨の影響なしの場合の適正経営面積を100とすると、各機械作業可能時間の最小値制約の場合の適正経営面積は約40であり、機械作業可能時間平均値制約のときの適正経営面積は80であった。この結果は、考慮する降雨リスク水準が適正経営面積に大きく影響していることを示唆している。他方、どの降雨リスク水準においても、水稻乾田直播の採用によって規模拡大・所得増加・平均労働時間の減少効果が現れた。また、各機械作業可能時間の最小値制約の場合だけ、平均経営費用が低下することが示された。このとき、適正経営面積において制約条件の上限に達している経営資源をみると、機械作業可能時間最小値制約のとき、全体としての労働力にはまだ余裕があるが、機械作業時間が不足することにより経営規模拡大が制限されていることがわかった。また、機械作業可能時間の平均値制約の場合には、最小値制約の場合よりも機械作業可能時間に余裕が生じることから、制約条件の上限に達している機械作業が減少することにより、機械作業制約だけではなく、労働力制約も規模拡大を制限している要因であることがわかった。一方で、降雨の影響なしの場合には、平均値制約の場合よりも制約条件の上限に達している機械作業制約項目がさらに減少することから、機械作業制約よりも労働力制約の方

が規模拡大を制限している要因となることが確認された。

第2章では、実際に生じた降雨パターンから降雨リスク評価方法の拡張を検討した。10万回シミュレーションの結果から得られる最適所得の分布は、単年度の気象条件下における最適化から得られる最適所得の分布よりもばらつきをもって出現していることが確認された。10万回シミュレーションの結果から、単年度の気象条件下における最適化では採用されなかった水稻V溝直播（主食米）が採用されるケースの評価も可能であった。ところで、10万回シミュレーションにおいては、その前提となる仮定として、使用した旬別の降雨データが旬毎に相互に独立していることが採用されていた。この仮定の信頼性については、さらに検討する余地が残されている。

第3章では、現存の営農計画策定支援システムの不足点を補う事ができるシステムとして、土地利用型農業における営農計画策定支援プログラム DSCP を開発した。また、事例分析を通じてその有効性を検討した。DSCP では、対象降雨期間の上限なく、時間降水量データによる機械作業可能時間の計算が可能である。また、その計算結果の数理計画モデルへの組み込み（単体表への追加）作業が自動化されているとともに、XLP の LP 計算機能を利用して、様々な降雨パターンの制約のもとで最適解を一括計算することが可能となっている。よって、DSCP は降雨状況の違いによる最適解シミュレーションを効率的に実行するツールであるといえる。

第4章は、開発した営農計画策定支援プログラム DSCP を利用して、作業を春季の計画段階の作業（年間の作業）と秋季の作業（8月下旬以降の作業）の2つに分類することにより、秋に事前の計画と異なる降雨パターンが生じる場合、適期内に秋季の作業（水稻収穫、小麦播種、大豆収穫）が可能な面積が計画段階より減少する影響等をシミュレーションする手法を開発し、その分析力を試行した。シミュレーション分析の結論としては、春計画段階に相対的に良好な降雨条件を年間降雨条件として想定した場合、計画段階の利益は高くなるが、その分、秋季に直面する様々な降雨条件によって規定される実績利益の変動リスクも大きくなるという傾向が観察された。さらに、水稻乾田直播の導入に従って、春計画段階にどの降雨パターンを想定しても、収益を増加することが期待できるが、降雨リスクへの対応の必要性が高くなる。作物の作付面積からみ

ると、春季の計画段階に、機械作業可能時間の最小値制約を想定する場合以外、春季にどの降雨パターンを想定しても、秋季の降雨条件により、作物の作付面積は計画面積より一定程度減少する可能性がある。水稻乾田直播の作付面積については、秋季の降雨条件により、計画より 20%以上減少する頻度が最も高い。また、春季の計画段階に想定する降雨パターン別に、秋季に様々な降雨パターンが生じた場合に計算されたそれぞれの最適作付計画の中で、制約条件の上限に達している機械作業の頻度及びその限界収益力を分析したことが、年間の作業スケジュールの調整、たとえば作業委託によるリスクの外部化等、経営計画の遂行に際して有効な情報となることが期待されることが確認された。

ところで、本研究では、一定のファクトファインディングは認められたものの、それらを考察することによって、経営意思決定主体、あるいは、政策立案主体などに対する行動規範の提示ができるような分析結果のとりまとめまでには至っていないという反省がある。また、降雨リスクの分析フレーム構築とその評価については、降雨実績データを用いて、分析方法・結果の提示にとどまっておき、意思決定主体の均衡条件を議論することまではできていない。

最後に、降雨リスク評価に関する研究における残された課題を整理して結びとしたい。

まずは、DSCP の開発・修正を継続する場合の課題である。具体的には、何より様々な事例の実証分析や降雨リスクが経営計画に与える影響評価の分析を実施することで実証例を積み重ねるとともに、よりユーザーフレンドリーな操作の実現や、柔軟な分析に耐えうるプログラムに改良を施していくことが求められるであろう。たとえば、利用者が機械作業可能時間の集計単位を旬や半旬だけでなく、任意に指定できる機能や、DSCP 自体に最適化問題の計算機能を実装すること等の改良を視野に入れている。

次に、長期的な課題としては、経営意思決定にける外部性の内部化（降雨リスク以外のリスクへの対応を含む）への対応がある。このためには、農業生産に関わる多様なリスクを考慮するという意味から、たとえば、生育モデル（気温変化による収量変動）なども考慮可能な数理計画モデルの構築も喫緊の課題であることを指摘しておきたい。また、制度的な側面からの内部化方策の評価については、収入保険制度の加入による安定化効果の検討等も、解明が急がれ

ている課題のひとつであろう。

引用文献

- Hardaker, J.B., R.B.M. Huirne, J.R. Anderson and G. Lien (2007) *Coping with Risk in Agriculture*, Second edition, CABI publishing, UK.
- Kay, Ronald D. and Edwards, William M. (1999) *Farm Management* 4rd edition, McGraw-Hill.
- Knight, F.H. (1959) 奥隅栄喜 [訳] 『危険・不確実性および利潤』, 現代経済学名著選集 6, 文雅堂銀行研究社.
- Olson, Kent D. (2004) *Farm Management :Principles and Strategies*, Iowa State Press.
- 秋山満 (2014) :「水田作経営における規模問題」, 日本農業経営学会編『農業経営の規模と企業形態—農業経営における基本問題—』, 農林統計出版, pp.47-64
- 天野哲郎 (1985) :「畑作経営の作物選択と技術評価」, 『農業生産の計画モデル—意思決定問題へのアプローチ—』, 総合農業研究叢書第6号, pp.1-30.
- 天野哲郎 (1988) :「畑作経営における農地購入投資の規範分析—十勝地域の畑作経営を対象として—」, 『農業経営研究』, 26 (2), pp.11-22.
- 天野哲郎 (2000) : 『農業経営のリスクマネジメント—畑作・露地野菜作経営を対象として—』, 農林統計協会.
- 天野哲郎 (2006) :「大規模畑作経営における野菜作の展開とキャベツ機械収穫システムの経営評価」, 『農業機械學會誌』, 68 (1), pp.4-8.
- 安藤光義 (2013) :『大規模経営の成立条件』, 農文協.
- 池田弘 (1975)「作業技術体系研究の手法に関する研究」, 『農事試験場研究報告』, 22, pp.1-103.
- 稲本志良 (1974) :「農家における技術進歩と規模—規模別農家の技術構造に関する動態分析—」, 『農業計算学研究』, 8, pp.17-37
- 稲本志良 (1978) :「稲作中型機械化体系の展開と規模・操業度効果」, 農業計算学研究
- 稲本志良 (1987) :『農業の技術進歩と家族経営』, 大明堂.
- 稲本志良 (1989) :「大規模水田農業経営の育成と金融の役割」, 『長期金融』, 69,

pp.73-84

- 稲本志良・小田滋晃・横溝功・浅見敦之（1993）：「経営規模論」，長憲次編『農業経営研究の課題と方向』，日本経済新聞評論社
- 今村幸生（1966）：「農業経営設計の理論と応用（Ⅲ）線形計画法による農業経営設計」，『農業技術研究所報告』，36，pp.1-150.
- 今村幸生（1969）：『農業経営設計の理論と応用』，養賢堂.
- 石束宣明・長野間宏（1985）「転換畑作業シミュレータの開発」，農業研究センター研究報告，4，pp.131-205.
- 梅本雅（1992）：「稲作における規模の経済性」，『東北農業試験場研究報告』，84，pp.113-132
- 梅本雅（1996）：「水田複合経営における水稲乾田直播栽培技術導入の経営的評価」，『農業センター経営研究』，35，pp.25-40.
- 梅本雅（1997）：『水田作経営の構造と管理』，日本経済評論社，pp.251
- 梅本雅（2006）：「稲-麦-大豆不耕起栽培を基軸とする高生産性水田輪作体系の経営的評価」，『農業機械学会誌』，68(1)，pp.4-8.
- 梅本雅（2008）：『転換期における水田農業の展開と経営対応』，農林統計協会
- 梅本雅（2009）：「関東地域における水田農業ビジョン実現に向けた取組の現状と課題」，関野幸二・梅本雅・平野信和編著，『制度改革下における水田農業の展開と課題』，農林統計協会，pp.35-54
- 梅本雅（2014）：「第1章 農業経営における規模論の展開」，日本農業経営学会編『農業経営の規模と企業形態—農業経営における基本問題—』，農林統計出版
- 遠藤宏幸・須藤英弥（1999）「生育予測モデルを考慮した水稲直播栽培の経営的評価」，東北農業研究，52，pp.261-262.
- 大石亘・南石晃明・相原貴之（1993）：『『対話形式による標準型線形計画法』改訂版操作マニュアル』，『農業経営研究資料』，第26号.
- 大石亘（1998）：「Windows版線形計画法プログラムXLP」，『関東東海農業経営研究』，第89号.
- 大石亘（2006）：「営農計画のための線形計画法プログラムXLP」，『農業情報研究』，15（3），pp.319-330.

- 大石亘(2008):「営農計画モデル作成自動化プログラム BFM」,『農業情報研究』, 17 (2), pp.50-59.
- 大石亘・松本浩一・梅本雅・東野裕広・村岡賢一(2011):「営農計画策定支援システム Z-BFM の特徴と活用方法」,『関東東海農業経営研究』, 第 101 号, pp63-68.
- 大石亘・関根久子(2012):「多段階計画モデルによる逐次営農計画問題の解法」,『農業経営研究』, 50 (2), pp.1-9.
- 大野高資(1998):「瀬戸内平坦地域における稲・麦経営の規模拡大限界」,『農業経営研究』, 36 (1), pp.81-84.
- 長田幸浩・丹野耕一・酒井博幸(1999)「FAPS によるカントリーエレベータ利用の経営的評価—大規模稲作経営体の事例より—」,『東北農業研究』, 52, pp.263-264.
- 菊池泰次編(1985):「農業経営の規模・集約度論」, 農業経営学講座 4, 地球社
- 木原義正(1987):「大規模稲作経営の展開過程と規模の経済性」,『東北農試農経研究資料』, 83, pp.1-29
- 気象庁「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 12 月 14 日アクセス
- 気象庁「異常気象リスクマップ」,
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/sfc_wetdry.html>, 2017 年 5 月 9 日アクセス
- 熊谷尚夫(1977):「需要曲線と費用曲線」, 安井琢磨・熊谷尚夫・福岡正夫『近代経済学の理論構造』, 筑摩書房, pp.257-281
- 久保嘉治・永木正和・樋口昭則(1993)「農業経営計画論」, 長憲次 [編]『農業経営研究の課題と方向』, 日本経済評論社, 東京, pp.195-199.
- 河野靖(2002)「愛知県におけるイチゴ生産を主体とした経営計画の策定」,『農業経営通信』, 中央農業総合研究センター経営管理部, 214, pp.2-5.
- 斎藤隆(1998)「水稻専作個別経営体をモデルとした水稻直播栽培の技術評価—宮城県北部平坦地を対象として—」,『東北農試総合研究(B)』, 12, pp.83-95.

- 笹原和哉 (2005)「代かき同時土中点播直播稲作技術を核とした暖地水田輪作技術体系の経営的評価」,『九州沖縄農業研究センター研究資料』, 91, pp.129-135.
- 下村義人 (1979)「地域・営農集団の組織化に関する計画論的研究— I 農業機械・施設利用組織の気象変動に伴う作業遅延・収量変動リスク・プログラミング・モデル—」,『東北農試研報』, 50, pp.113-150.
- 塩谷幸治 (1999)「作業上のリスクを考慮した営農計画策定支援手法の現状と課題—北陸地域における大規模水田作経営支援を念頭に—」,『北陸農試農業経営研究』, 56, pp.42-54.
- 塩谷幸治・関正裕・細川寿 (2012) :「水田作経営における耕うん同時畝立て播種作業機の大麦：大豆作汎用利用技術導入の評価」,『農林業問題研究』, 48 (1), pp.164-169.
- 生源寺眞一 (1986) :「稲作の費用と専業経営下限規模」,『農業経済研究』, 58(1), pp.30-40.
- 生源寺眞一 (2014) :「第 8 章 規模問題と農業経営の多層構造」, 日本農業経営学会編『農業経営の規模と企業形態—農業経営における基本問題—』, 農林統計出版, pp.131-139
- 孫雯莉・大石亘・ルハタイオパット プウォンケオ・松下秀介 (2016)「数理計画モデル分析における気象リスク評価方法の拡張に関する一考察—気象リスクを考慮した水稻乾田直播栽培の経営的評価を事例として—」,『農林業問題研究』, 52 (3), pp.136-141.
- 孫雯莉・大石亘・ルハタイオパット プウォンケオ・松下秀介 (2017)「降雨リスクを考慮する営農計画策定支援プログラム DSCP の開発」,『農業情報研究』(投稿中)
- 線形計画法プログラム XLP, <<http://39you.net/xlp/xlp.html>>, 2016 年 12 月 14 日アクセス
- 高橋正郎 (1983) :「規模問題と構造政策の視点」,『農業経済研究』, 55(3), pp.115-122
- 土田志郎 (1992) :「良質米生産地帯における水田輪作の成立条件—線形計画法による稲・麦・大豆作経営のモデル分析—」,『農業経営研究』, 30(1), pp.46-

55.

土田士郎 (1999) : 「関東平坦地域における水田輪作複合経営と不耕起乾田直播栽培」, 小室重雄編著『水稻直播の経営的効果と定着条件』, 農林統計協会, pp.67-89

土田志郎 (2011) 「新輪作営農システムの経営的評価 (北陸における高品質大麦・飼料用イネ輪作システムの確立)」, 『ファーミングシステム研究』, 9, pp.214-228.

鶴岡康夫 (2001) : 「生産管理行動を考慮した稲作の規模拡大及び収益性に対する圃場条件の影響」, 『農業経営研究』, 39 (1), pp.1-13.

宗像政美 (1997) : 「農業経営計画法による経営改善の検討 : 土別市における生産環境変化に対する経営計画の検討」, 『農業経営研究』, 23, pp. 45-63.

中原秀人・堀内久太郎 (1996) : 「家族経営における水稻直播栽培導入の可能性」, 『農業経営研究』, 34 (3), pp.78-81.

南石晃明 (1990) : 「パソコン用数理計画システム micro-NAPS」, 『オペレーションズ・リサーチ : 経営の科学』, 35 (8), pp.481-484.

南石晃明 (1995) : 「確率的計画法」, 現代数学社, 京都, p167.

南石晃明・長野間宏・小柳敦史 (1996a) : 「大規模水田作経営における不耕起乾田直播栽培技術の経営的評価: 確率的多目的計画モデルによる分析」, 『1996年日本農業経済学会論文集』, pp.23-28.

南石晃明・長野間宏・小柳敦史・土田志郎 (1996b) : 「数理計画モデル自動生成機能を持つ農業経営支援システム FAPS の開発」, 『日本オペレーションズ・リサーチ学会 1996 年度秋季研究発表会アブストラクト集』, pp.64-65.

南石晃明・長野間宏・小柳敦史・土田志郎 (1997) : 「時間降水量データによる稲・麦・大豆体系の作業可能時間の推定方法」, 『システム農学』, 13(1) ,pp.1-9.

南石晃明・向井俊忠 (1997) : 「作業リスクと水田作経営の適正経営面積 : 作業可能時間の年次変動を考慮した数理計画モデル分析」, 『農業経営研究』, 34 (4) ,pp.67-77.

南石晃明 (1998) : 「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.

- 南石晃明・土田志郎・長野間宏・小柳敦史（1998）：「大規模経営における不耕起
乾田直播栽培技術の経営的評価」、『東北農試総合研究（B）』,5,pp.51-58.
- 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.141-160.
- 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.
- 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.
- 西川邦夫（2012）：「現局面における米生産者直販の展開論理」、『農業経済研究』,
84（1）, pp.15-31
- 仁平恒夫（2005）：「南空知地域における今後の経営展開方向-経営計画モデルに
よるシミュレーション」、『北海道農業研究センター農業経営研究』,(90),
pp.66-72.
- 納口るり子（2005）：「水田作の構造変動と担い手像」、『農業経営研究』,42
（4）,pp18-30
- 農林水産省[編]（1987）『水田農業確立のための技術指針』,全国農業改良普及協
会,125pp.
- 農林水産農業研究センター（1998）：『線形計画法による農業経営の設計と分析
マニュアル』,農林水産省農業研究センター.
- 農林水産省農蚕園芸局編（1990）：『土地利用型農産物生産性向上指針の作成・
実現に向けて』, pp.100-102
- 原田節也（1990）：「農業経営発展のモデル化」、『農業経営発展と計画・管理』,
近畿中国農業研究叢書第2号, pp.101-172.
- 藤井吉隆・南石晃明（2003）低米価時代における大規模水田経営の経営改善の
可能性-滋賀県内の事例をとおして-, 農業経営研究,41（1）,pp.55-60.
- 樋口昭則（1985）：「目標計画法と水田利用再編」、『農業生産の計画モデル-意
思決定問題へのアプローチ』,総合農業研究叢書第6号, pp.61-87.
- 樋口昭則（1997）：農業における多目標計画法,農林統計協会, pp.170-192.
- 前川英範（1998a）：「大規模経営におけるスターホイルトラクタによる湛水直播
栽培の経営的評価-福井県坂井平坦地域を対象として-」、『東北農試総合
研究（B）』,12, pp.18-30.

- 前川英範 (1998b) :「生産組織におけるスターホイルトラクタによる湛水直播栽培の経営的評価－福井県坂井平坦地域を対象として－」,『東北農試総合研究 (B)』, 12, pp.31-44.
- 前川英範・南石晃明 (1999) :「水稻湛水直播栽培の導入効果：条播および散播を対象とした数理計画分析」,『農業経営研究』, 37 (3), pp.31-41.
- 松井丈 (1999) :「汎用管理機を利用した水稻湛水直播の経営的評価」,『関東東海農業経営研究』, 90, pp.61-64.
- 松原茂昌・平尾正之・佐藤清 (1986) :『線形計画法の BASIC プログラム－パーソナル・コンピュータによる農業経営の診断・設計－』, 農業研究センター研究資料 9 号.
- 松井丈 (1999) :「汎用管理機を利用した水稻湛水直播の経営的評価」,『関東東海農業経営研究』, (90), pp.61-64.
- 松本浩一・梅本雅・澤田守 (2013) :「汎用化水田の導入による水田作経営の展開可能性：地下水位制御システム導入の経営的評価」,『農業経営研究』, 51 (2), pp.25-30.
- 宮武恭一 (2015) :「南関東における大規模水田輪作導入の取り組みと技術開発課題」,『中央農業総合研究センター研究資料』 10, pp.157-164
- 宮本誠・松本功・岩井正志 (1998) :「水稻直播栽培の規模拡大・コスト低減効果とその限界」,『農業経営研究』, 36 (2), pp.25-34.
- 宮本誠 (2001) :「米価下落における稲作経営と水田農業確立対策等の効果」,『農業経営研究』, 39 (1) ,pp.105-110.
- 溝田俊之・大江靖雄 (2011) :「農業経営分析の展開と実践的農業経営分析構築上の課題」,『食と緑の科学』, 第 65 号, pp.117-129.
- 溝田俊之 (2012) :「第1部第 5 章第 4 節 数理計画法による経営評価」, 日本農業経営学会編『農業経営研究の軌跡と展望』, 農林統計出版, pp.138-142.
- 頼平 (1982) :『農業経営学講座 7－農業経営計画論』, 地球社.
- ルハタイオパット プウォンケオ・大石亘・関根久子・松下秀介 (2016a) :「大規模畑作経営における革新的技術体系の経営的評価－十勝地域 A 町の家族経営を対象として－」,『食農と環境』, (18), pp.53-62.
- ルハタイオパット プウォンケオ・孫雯莉・小林諒・大石亘・松下秀介 (2016b) :

- 「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), 68-90.
- 横山繁樹・セルジオ R.フランシスコ・南石晃明 (1998) :「リスクを考慮した最適作物選択-フィリピン水田裏作の場合-」, 『国際協力研究』, 14 (1), pp.33-42.
- 若林勝史 (2010) :「畑作新生産システムの現段階と経営モデル分析手法」, 『北海道農業研究センター農業経営研究』, (104), pp.37-52.
- 若林勝史・石田茂樹・大津英子 (2012) :「てんさい直播とばれいしょソイルコンディショニングを核とする新生産体系の経営的評価」, 『北農』, 79 (2), pp.174-179.

謝辞

本論文の完成に至るまでには多くの方々にお世話になりました。

指導教官である松下秀介先生（筑波大学生命環境系教授）には、ご多忙中にも関わらず、終始懇切丁寧なご指導を賜りました。特に、研究者としての姿勢、研究方法について、ご指導とともに叱咤激励をいただきました。大石亘博士（筑波大学生命環境系非常勤研究員）には、毎週勉強会を開催していただき、数理計画法の理論や計算方法、及び Excel のマクロ機能の知識についてご教示いただきました。今までお二方には、多くの面でお世話になり、この紙面では感謝し尽くせないほどです。

また、副査を引き受けていただいた納口るり子先生（筑波大学生命環境系教授）、茂野隆一先生（筑波大学生命環境系教授）、林久喜先生（筑波大学生命環境系教授）をはじめとして、本学生命環境系農業経済分野の諸先生方より懇切かつ、多大な御指導とご教示をいただきました。謹んでお礼申し上げます。

元研究室の助教である LURHATHAIOPATH PUANGKAEW 博士（現 農研機構食農ビジネス推進センター研究員）には、熱心なご指導と激励の言葉をいただきました。感謝の念が絶えません。

大学院在籍中、農業経済分野の大学院生の皆様にも、大変お世話になりました。先輩方・後輩・同期の皆様が各々の研究と真摯に向き合う姿勢に、日頃から尊敬の念を抱きつつ、刺激を受けていました。皆様と同じ時間を過ごせたことが、最後まで楽しく研究に取り組むことができた最大の理由だと思います。農業経済事務室の北沢佐代子様にも、日頃よりお世話になりました。この機会に、心よりお礼申し上げます。

最後に、私事に渡り恐縮ではあるが、長きに渡る日本での生活と研究生活を快諾し、あらゆる面において不出来な私を支えてくれた家族に、心より深く感謝します。

お世話になった数多くの方々に、感謝と敬慕を表して謝辞と致します。

2017年7月

孫 雯莉