

論文

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 —

ルハタイオパット プウォンケオ¹⁾・孫 雯莉²⁾・小林 諒³⁾・大石 亘¹⁾・松下秀介¹⁾

1) 筑波大学生命環境系

2) 筑波大学大学院生命環境科学研究科

3) 横浜市環境創造局

Trend of Researches on Mathematical Programming in Farm Management Field: with Focusing on the Paddy and Upland Field Farming

Puangkaew LURHATHAIOPATH¹⁾, Wenli SUN²⁾, Ryo KOBAYASHI³⁾,
Wataru OISHI¹⁾ and Shusuke MATSUSHITA¹⁾

1) Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

2) Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

3) Environmental Planning Bureau, City of Yokohama

This paper aims to provide an overview of Mathematical Programming methods and software, and clarify the trend of researches on Mathematical Programming in farm management field, focusing on the paddy and upland field farming.

Specifically, in section 2, the overview of 5 methods (Linear Programming, Goal Programming, Dynamic Programming, Nonlinear Programming, and Stochastic Programming) and 5 principle free software of Mathematical Programming (CLP, XLP, BFM, Z-BFM, FAPS) were provided. In section 3, the trend of researches, since 1970, on Mathematical Programming methods in farm management field were clarified from various points of view such as “study area” “study contents” “analysis method” “analysis software”. Moreover, survey of research articles’ main results, relating to new crops, cultivation technologies and machines introduction effect and farm planning, were conducted.

According to the results, first, researches on upland field farming were few compared to paddy field farming. Second, the main users of Mathematical Programming in both paddy and upland field farming are national and regional research organization. Nevertheless, the uses of university and extension organization were extremely few. Third, even there were many researches on the evaluation of new crops, cultivation technologies and machines introduction effect, but only a few of those researches studied about the possibility and conditions of introducing new crops, cultivation technologies and machines to the target area.

Keywords: Mathematical Programming, farm management, paddy field farming, upland field farming

I はじめに

経済学的思考の前提として、農業経営主は農家経済の一構成部門である農業経営に一定の家族労働と所有財産を合理的に配分し、農業所得を持続的に最大にすることを目標としている。また、農

業所得が最大になるように、経営主は、自己経営の過去の実績の分析・診断結果などの情報に基づいたいくつかの選択可能な経営計画案を作成し、その中から経営目標を最大限に達成しうる最適経営計画を決定・実行し、その経営計画を評価した

上で、経営改善を図る（経営実績の把握・分析→経営診断→経営計画の設計→経営計画の実行→経営成果の評価・改善）という一連の経営管理を効率的に遂行することが重要とされている。こうした農業経営における経営管理の重要性に関する認識の高まりを背景に、これまで農業経営の分析、診断および計画のための様々な理論と手法が開発されるとともに、現場への適用など実践的研究が数多く行われている。

日本では、戦後の1940年代後半から1950年代前半にかけて農業経営の分析・診断の手法として、客観的な基準と比較する手法とCobb-Douglas型の生産関数分析が主流を占めていた。前者は比較の基準となる指標を策定し、これを農家の努力接近の目標とするものであり、①人為的に策定した最も合理的な経営を基準とする標準比較法、②特定の優良経営の過去の実績を基準とする直接比較法、③自己経営の過去の実績を基準とする自己比較法の3つが多く適用されていた。後者は投入と産出量間の技術的関係を表示するものであり、技術進歩の効果や構造変化の把握に非常に有用であった。しかしながら、これらの手法では農業経営における基本的問題、重要問題の抽出に重点が置かれており、具体的な経営改善策を提示することが困難である。また、経営改善策の提示ができてその改善策は抽象的であり、実践性に欠けていることが指摘されている^{[30][31]}。

1950年代後半以降では、こうした比較法と生産関数分析の欠点を補うものとして、個々の経営の現実的・具体的改善策を提示する試算計画法と数理計画法が注目されていた。試算計画法は、現実の経営実績をもとに、作目構成の変更や改良技術および新技術等の導入を想定した経営計画案を繰り返し試算し、より良い経営成果をもたらす経営計画を求める手法であり、経験や勘と簡単な数学を使って試算が行えるという特徴を持っている。しかし、試算計画法には、必ずしも経営耕地や労働力の経営資源を最大限に有効利用した最適計画案を作成できるとは限らないなどの難点がある^[72]。これに対し、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経営計画を求める手法である。1960年代後半以降、電子計算機の発達と相まって、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^[30]。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、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いる。

このように、これまでの日本の農業経営学分野における数理計画法に関する研究は、手法の深化、計算用システムの開発、営農現場での適用等、多くの実績をあげてきた。数理計画法の手法に関する研究は頼平^[72]、今村^{[18][19]}が、数理計画システム開発に関する研究は南石^{[35][37][42]}、大石^{[47][48][49]}が、実践的適用研究は梅本^{[66][67]}などが代表としてあげられる。その一方、それぞれの研究領域に蓄積されてきたノウハウや研究成果等を体系的に整理した研究は、農林水産省農業研究センター「線形計画法による農業経営の設計と分析マニュアル^[45]」で、線形計画法の理論の概要、モデル作成法、分析事例、計算用システムなどが解説・紹介されているが、それほど多いとは言えない。そのため、多様な利用者の要求に応える数理計画システムの開発に取り組もうとするシステム開発者、これから数理計画法を適用して農業経営改善計画に挑戦する研究者、また研究課題、研究の方向性やオリジナリティの模索に励む大学生・大学院生に対する情報提供は、数理計画法・数理計画システムの利用・普及を推進する上で重要な課題であると考えられる。

そこで、本稿では、これまで研究が進められてきた数理計画法の広範な利用・普及の促進を念頭に、農業経営学分野でこれまで開発されてきた各種の数理計画法と数理計画システムの概要、ならびに数理計画法を適用した既往研究の動向を整理する。具体的には、第1に、線形計画法とそれをもとに発展した各種の数理計画法と一般の利用者が入手できるCLP、XLP、BFM、Z-BFM、FAPSの5つの数理計画システムの概要を整理する。第2に、1970年以降の数理計画法を適用した既往研究の「研究内容」「分析手法」「分析システム」「対象地域」「対象作目」などの情報を多視点から整理し、日本農業経営学分野における数理計画法を適用した研究の動向・特徴の全貌を伝えることを試みる。さらに、第3に、数理計画法を適用した研究の中で、数多くの研究成果が蓄積されてきた「技術の経営

的評価」と「営農計画」の2つの研究領域の主要な研究成果を整理する。なお、本稿では水田と畑作部門を主な対象とする。また、整理対象となる研究の公表された媒体は、水田作を対象とした研究では、①日本農業経済学会、日本農業経営学会、地域農林経済学会、農業食料工学会（旧：農業機械学会）、農村計画学会等の学術団体が刊行する学術雑誌に掲載された原著論文19本、②一般刊行図書に収録された論考5本、③試験研究機関、大学等の刊行する学術刊行物に掲載された論考9本である（表2）。また、同様に、畑作を対象とした研究では、①7本、②7本、③6本（表3）である。

Ⅱ 数理計画法と数理計画システムの概要

1. 数理計画法の適用上の問題点

農業経営学が実践的であるためには、その理論と手法は具体的であるとともに、経営活動を総合的に把握できるものでなくてはならない^[19]。こうした実践的要請を満足させるための手法として、数理計画法が適用されている。しかし、このような数理計画法を適用する際に多くの問題点が存在していることも事実である。そこで、ここでは、各種の数理計画法と数理計画システムの概要等の整理に先立ち、溝田ら^[30]、南石^[43]、大石^{[47][48]}での議論を援用し、数理計画法の適用上の問題点について整理する。

まず、溝田ら^[30]では、数理計画法のメリットとデメリットが以下のように整理されている。具体的に、溝田ら^[30]は、数理計画法のメリットについて、計量経済学的手法のように一定の大きさの標本集団をデータとして求めないこと、条件を変更することで様々なシミュレーションを行うことができることなどの操作性の良さを指摘している。一方、数理計画法のデメリットについては、計量経済学的手法のように各種の統計的検定手法の適用による推定結果の頑強性のチェックが行えないなどの客観性の欠如を指摘している。

次に、数理計画法の現実性について整理した南石^[43]の指摘について紹介する。具体的に、南石^[43]は、数理計画モデルの営農現場での利用を考えるならば、営農現場の実態に即した経営条件を反映したモデルの作成が重要になることを指摘している。その上で、数理計画モデルの現実性として、例えば、市場条件や圃場条件による土地純収益の

違い、気象条件による機械作業可能時間の違いなど、実態に即した経営条件を反映したモデルはその構造が複雑にならざるを得ず、操作性が犠牲になるという傾向があることを分析手法上の限界として指摘している。また、その結果、従来の研究成果では多くのモデル分析において現実性が不足していたことを指摘している¹⁾。

他方、大石^{[47][48]}では、利用者の限定と利便性の追求の視点から、数理計画法の実践性が議論されている。具体的に、数理計画法を利用するためには、その利用者に対し、当該手法に関してある程度の知識が備わっていること、具体的な事例への適用経験があること、数理計画モデルの作成および計算結果の解釈に習熟していることが求められるなどが指摘されている。また、自身の経験に基づき、これらの条件を備えた利用者に対する数理計画システムの利用環境が一定程度構築されてはいるものの、この利用環境が制約条件となり、これまでの数理計画法の利用は、農業経営学分野の研究者が大半を占めていることを指摘している。従来は限定的であったが、理想的には、農業技術普及関連の機関や農業経営者等の利用者への普及が求められることを指摘している。すなわち、数理計画法がさらに実践性を高めるためには、営農計画モデル作成自動化プログラムの開発・提供等による支援が欠かせないと結論づけている²⁾。

以上、溝田ら^[30]、南石^[43]、大石^{[47][48]}での議論を整理した結果、数理計画法を用いた研究を推進するためには、各種の数理計画法・数理計画システムが有する分析力や特徴を具体的に整理し、それを踏まえた上での分析手法・システムの選択からモデル構築までの一連の作業に関する利用者の理論的・実証的な習熟度に応じたサポートの提供ができる研究環境を整えることが必要であるという問題提起が指摘できよう。

2. 数理計画法の概要

数理計画法の中で、線形計画法は基本となる手法であり、最も普及している手法でもある。しかし、このような線形計画法には、①プロセスの稼働水準は連続変数（実数変数）である、②単一目標しか解けない、③時間要素を考慮できない、④制約条件・目標関数はすべて1次で表現しなければならない、⑤偶然変動を考慮できないなどといっ

た問題がある。こうした問題を解決するために、プロセスの稼働水準に関する連続性の仮定を排除した不連続変数計画法、複数の目標に対して同時に解が得られる目標計画法、時間的な要因を考慮して多段階決定の問題へと一般化した動的計画法、1次という条件を一般化した非線形計画法、偶然変動を組み入れた確率的計画法などの手法が開発されている。以下では、農業経営学分野における線形計画法とこれを発展させたそれぞれの手法の概要を簡単に整理する。なお、以下の整理は、使用される数式の性格およびモデル化される対象の性格による分類であるため、排他的な分類にはなっていない。

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（例えば、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、例えば、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、大石ら^[53]によると、これらの手法の共通と異なる点は次に整理できる。共通している点は、今年度の経営資源（耕地、労働力、資金、固定資本装備等）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、1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、実際には、農業経営主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。

3. 数理計画システムの概要

農業経営学分野において、これまで開発されてきた数理計画システムは、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CLPと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なわれていたが、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CLP³⁾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、CLPの後継としてWindows用プログラムのXLP⁴⁾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(SP4XLP⁵⁾)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) BFM (2006)

線形計画法のパソコン用の計算プログラムが利用できるようになっても、線形計画法の利用は主に農業経営の研究者に留まり、普及関係者や農業経営者の利用は少ない状況は変わっていなかった。その要因の1つとして、線形計画法を適用する際の営農計画モデルの作成に当たっては、経営条件や営農技術をモデル化する手法を習得する必要があることが考えられる。そこで、普及関係者等にも手軽に利用してもらえるように、営農計画モデルの作成を自動化するプログラムBFM⁷⁾が開発された。利用者が入力する作目の収支データ、旬別の作業労働時間、想定する経営面積、労働力等のデータから線形計画モデルを構築して、そのデータをXLPに渡し、線形計画法の計算をして結果を

受け取り、それを整理して表示し作目別作付面積と旬別必要労働時間を図示する。

4) Z-BFM (2010)

農研機構と全農の共同開発で、BFMをもとに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-BFM⁸⁾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、等があげられる。

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⁸⁾」も開発されている。

5) FAPS (2000)

CLPからXLP、BFM、Z-BFMへと開発・改良が進められる一方で、南石^[42]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5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^[35]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^[41]。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

表1 数理計画システムの機能の比較

		汎用的システム		自動化システム		
		CLP	XLP	BFM	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) データベース機能内蔵の有無	無	無	有	有	有
	2) 試算計画法機能内蔵の有無	有	無	有	有	有
	3) 計算結果の表示・図示	図表	表	図表	図表	図表

注：1) この表は、南石^{[41][42]}および大石^{[49][52]}をもとに作成した。
 2) 汎用的システムの場合、○は対応可能、—は対応不可能を示す。自動化システムの場合、○は基本の演算手法である、—は基本の演算手法でないことを示す。

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言える。しかし、これらのシステムでは、例えば、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、自動化システムでは、線形計画法あるいは目標計画法のそれぞれを基本の演算手法としたBFM、Z-BFM および FAPS の3つがある。BFM と Z-BFM では、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。

Ⅲ 数理計画法を援用した研究の動向と特徴

本節では、水田と畑作部門を対象として、1970 年以降の数理計画法を適用した既往研究の「研究内容」「分析手法」「分析システム」「対象地域」「対象作目」などの情報を多視点から整理し、日本農業経営学分野における数理計画法を適用した研究の動向・特徴を整理する。また、数理計画法を適用した研究の中で、研究成果が多く蓄積されてきた「技術の経営的評価」と「営農計画」の2つの研究領域の主要な研究成果の概観・整理を試みる。なお、対象とする個々の既往研究の諸情報および内容を整理してまとめたのが表2と表3である。

1. 数理計画法を援用した水田作経営研究

1) 数理計画法を援用した水田作経営研究の動向

水田作経営に数理計画法を適用した研究は計33編ある。まず、著者の所属機関を見ると、著者の所属機関が国立研究機関（農研機構を含む）と都道府県の研究機関のものが29編で、全体の88%を占めている。一方、大学と都道府県の普及機関に

よるものは極めて少なく、それぞれ3編と1編となっている。このように数理計画法が国や都道府県の研究機関を中心に適用されている理由として、次の2点があげられる。①研究会等を通じた数理計画法に関する基礎知識の習得機会がある。②数理計画法の長所は具体性であり、その特徴から、具体的な対策の検討が求められる国や都道府県の研究機関に広く受け入れられている^[30]。

研究内容は、表2を見ればわかるように、これまでに実施された数理計画法を適用した水田作経営研究は、農業経営への新栽培技術、新機械体系、新作物等の導入効果を経営の視点から評価する「技術の経営的評価」、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」、新しい計算システム・手法の開発・改良、営農計画への数理計画法の適用方法に関する情報提供、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などの「その他」の3つの研究領域に大きく分けられる。その中で、「技術の経営的評価」が18編と最も多く、その次に「営農計画」が12編、「その他」が3編の順となっている。

利用した分析手法と分析システムは研究課題に応じて選択されるが、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。また、一部の研究では、パラメトリック線形計画法や部分整数計画法が適用されている。確率的目標計画法と目標計画法については全体に占める割合はそれぞれ18%となっており、線形計画法の次に多く用いられている。その他にも確率的計画法や多段階計画法の適用も見られるが、その適用は極めて少ない。分析システムについては、1990年代前半までは、福田重光作成の「ゴールプログラミング」などの分析システムが利用されていたが、それ以降の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。

対象地域については、特定の地域を対象とした研究がほとんどである。特に、有数の水田地帯の関東と北陸に焦点を当てた研究は16編にのぼる。複数の地域を対象として、東北・北陸・近畿・中国の4つの地域とインドネシアの2つの地域に着目した研究の2編がある。対象作目は、水田利用再編政策などを背景に、「水稲・畑作物」に焦点を当てた研究が圧倒的に多い。次いで、「水稲・畑作

表2 水田作を対象とした数理計画法を援用した研究の一覧表

公表媒体	文献番号	著者	年次	所属機関	研究内容	分析手法	対象地域	対象作物	使用データ	研究課題
A	62	土田	1992	国研	技術評価*	線形計画法	北陸	水稲・畑作物	事例調査	新潟県白根市の大規模水田作経営を事例に、圃場別・品種別の車収水準、播種時期の違いによる車収差等を考慮した線形計画モデルを構築し、良質米生産地帯における転作補助金を節減にしない水稲-麦-大豆作体系の導入効果と定着の可能性を検討した。
A	36	南石ら	1996	国研	技術評価	確率的目標計画法	関東	水稲・畑作物	事例調査・試験研究成果	茨城県新利根町の大規模水田専業営農組合を対象に、降雨による収穫・播種作業等が選定・不能になった作業リスクと種数目標を考慮した確率的目標計画モデルを作成して、移植栽培技術と比較しながら、不耕起乾田直播栽培技術の導入効果を説明した。
A	34	中原ら	1996	県研	技術評価	線形計画法	九州	水稲・畑作物	事例調査・統計	福岡県東郷町二毛作経営と大規模稲(麦)作経営を対象に、線形計画法による移植栽培技術の規模限界の解明と部分調整計画法による開発途上の湛水土壌中直播栽培技術(条播)の導入効果(規模拡大効果・所得増大効果)の評価を試みた。
A	38	南石ら	1997	国研	その他	確率的目標計画法	北陸	水稲・畑作物	事例調査・情報	石川県根上町の家族経営を対象とし、営農リスク(収益リスクと作業リスク)を考慮した適正経営面積の推定方法を提案するとともに、適正経営面積への営農リスクの及ぼす影響を解明した。
A	32	宗像	1997	普及	営農計画	線形計画法・目標計画法	北海道	水稲・畑作物・野菜類	試験研究成果	北海道の北陸地帯である北海道十勝市の営農計画の検討を試みた。具体的には、①線形計画法による米価が変化した場合の稲作経営の営農計画、②目標計画法による経営者年代・経営目標別の稲作経営の営農計画の検討を行った。
A	22	黒河	1997	大学	営農計画	線形計画法	北海道	水稲・畑作物・野菜類・畜産	事例調査	北海道の大都市である札幌市における営農計画と農業経営組織のあり方について検討した。具体的には、線形計画法を用い、様々な野菜類の導入、借地による経営規模拡大、農業経営組織化による労働規模の拡大による効果を検討した。
A	29	宮本ら	1998	県研	技術評価	線形計画法	近畿	水稲	事例調査	兵庫県赤穂郡上郡町の大規模稲作農家を事例に、移植栽培技術との比較から、条播による湛水土壌中直播栽培技術と不耕起乾田直播栽培技術の導入によるコスト低減効果および規模拡大・所得向上効果を検討した。
A	54	大野	1998	県研	技術評価	線形計画法	四国	水稲・畑作物	試験研究成果	愛媛県瀬戸内平田地域の水稲稲苗移植・裸麦作経営を対象に、保有労働力から見た規模拡大の限界および新栽培技術(乳苗移植栽培技術と不耕起乾田直播栽培技術)の導入による規模拡大・労働力効果を検討した。
A	25	前川ら	1999	県研	技術評価	確率的目標計画法	北陸	水稲・畑作物	事例調査	福井県津田町の大規模水田生産組合を事例に、確率的目標計画法を適用し、規模拡大・労働省力・所得増大への湛直播栽培技術の導入効果の比較検討を行った。
A	11	樋口ら	1999	大学	営農計画	目標計画法	海外	水稲・畑作物	事例調査	インドネシアのジャバ島の典型的な稲田農村の車収水準を算定し、低米価時代における①作業委地・労働など経営資源の評価を行った。分析手法は目標計画法を適用した。
A	65	鶴岡	2001	県研	営農計画	線形計画法	関東	水稲	事例調査	千葉県の大規模稲作経営を事例に、類型化した圃場条件ごとに、生産管理行動と標準化した作業時間を取り組んだ面積最大化の線形計画モデルを算定し、水稲作付面積に及ぼす個々の圃場条件の影響とその改善のための具体的方策の提示を検討した。
A	5	藤井ら	2003	県研	営農計画	目標計画法	近畿	水稲・畑作物	事例調査	滋賀県の大規模水田作経営を対象し、目標計画法を適用し、低米価時代における①作業委託、②湛水土壌中直播栽培技術の導入(機械のレンタル方式)、③期間借地による小規模栽培、④米の直接販売の4つの所得改善方策の導入による所得改善の可能性を検討した。
A	70	八木ら	2004	国研	営農計画	線形計画法	東北・北陸・近畿・中国	水稲	統計情報	農地面積に占める水田の割合が高い東北、北陸、近畿、中国の4つの中山間地域を対象に、中山間地域における大規模水田経営の経済的な成立可能性に及ぼす生産条件別の圃場の賦存量および直接支払い制度の影響を検討した。
A	71	八木ら	2005	国研	営農計画	不明	関東	水稲	事例調査	都市近郊部である埼玉県北部の土地改良区を対象とし、地域特有のデータを地区単位に整理した後、数理計画法を用いた地区分級モデルを構築し、都市化の影響と水利施設の維持管理の負担を考慮した上で、将来の水田利用の方向性の提示を行った。
A	67	梅本	2006	国研	技術評価*	線形計画法	関東	水稲・畑作物	試験研究成果	関東平野水田田作経営を対象に、線形計画モデルを作成して、①水稲ロンゴママト水田稲苗移植、②水稲不耕起乾田直播、③大豆不耕起兼畦栽培を組み込んだ4年6作の輪作体系の導入効果と普及条件の検討を行った。
A	64	土田	2011	大学	技術評価*	目標計画法	北陸	水稲・畑作物	試験研究成果	良質米生産地帯である北陸地域の耕種経営を対象に、作業競合回避技術と品質・単収向上省力技術が開発されている、飼料用稲-大麦-飼料用稲2年3作の輪作体系の導入効果と定着条件について検討した。
A	61	塩谷ら	2012	国研	技術評価	線形計画法	北陸	水稲・畑作物	試験研究成果	新潟県で水稲-麦-大豆2年3作体系に取り組みている大規模水田作経営を対象に、兼得働き込み・耕うん・畝立て・播種の作業の一工程化、麦と大豆の作付に関する汎用技術の導入による所得向上効果、2年3作体系の定着・促進効果の事前評価を行った。

注：1) Aは学術雑誌, Bは一般学術機関, 大学等の学術刊行物に掲載された研究を示す。
 2) 所属機関については、筆頭著者の所属機関、独立行政法人等、県研：都道府県の研究機関等、普及：都道府県の普及機関等、および、大学と略称している。
 3) *は技術評価とともに、その評価対象となる技術の普及・定着条件を検討した研究であることを示す。

表2 水田作を対象とした数値計画法を採用した研究の一覧表 (続き)

公表媒体	文献番号	著者	年次	所属機関	研究内容	分析手法	対象地域	対象作物	使用データ	研究課題
A	28	松本ら	2013	国研	技術評価	線形計画法	近畿	水稲・畑作物	事例調査	研究課題 滋賀県の法人経営の実態調査をもとに、線形計画法を適用し、地下水水位制御システム IFEAS)の導入による経済性および水田作への影響を評価するとともに、汎用水田に よる水田作経営の展開可能性を解明した。
A	60	千田ら	2015	国研	営農計画	線形計画法	中国	水稲・畑作物	事例調査	中国地域の2戸の法人経営を事例に、米価と転作飼料作物への交付金変化の影響を考慮し た上で、飼料用稲、稲WGS、トウモロコシ、牧草の導入効果を評価し、水田飼料作経営の 成立条件の検討と国産飼料の増産を推進するための施策の提示を試みた。
B	8	樋口	1985	国研	営農計画	目標計画法	中国	水稲・畑作物・ 野菜類	事例調査・統計 情報・県標準技 術体系	岡山県津山市の小規模安定兼業農家を対象に、目標計画法を用いて農家の条件、意向や目 標に応じた望ましい営農計画の提示を試みた。想定する経営は、①転作なし、②転作や田に 自給野菜を導入、③転作大豆・小麦の導入、④積極的に転作と借地を導入の4つである。 逐次計画法を計算するためのソフトを開発し、その操作を確認するために、仮定値の作一 次計画を用いてテストランを行った。計算例題として、経営発展を動的的に促え、水稲の在来 技術と新技術の選択範囲を検討する上で、逐次計画法の有効性を明らかにした。
B	7	原田	1990	県研	その他	逐次計画法	特定無し	水稲	仮定値	岡山県加茂川町円城地区農家を事例に、調査から把握した複数の目標を目的計画モデルに 組み込み、①個別完結経営、②専業経営、③兼業経営の3つの種類の営農計画案を策定 した。また、策定した営農計画案の現実性・妥当性も検討した。
B	9	樋口	1997	国研	営農計画	目標計画法	中国	水稲・畑作物・ 野菜類・畜産	事例調査	岡山県津山市平福集落3協業農産組合による調査結果をもとに、3戸の兼業農家から結成さ れた営農集団において、個々農家の目標と集団運営目標を同時に追求できる目標計画モデ ルを構築し、個別農家と営農集団の両方が満足するような計画案を策定・提示した。
B	10	樋口	1997	国研	営農計画	目標計画法	中国	水稲・畑作物	事例調査	岡山県津山市平福集落3協業農産組合による調査結果をもとに、3戸の兼業農家から結成さ れた営農集団において、個々農家の目標と集団運営目標を同時に追求できる目標計画モデ ルを構築し、個別農家と営農集団の両方が満足するような計画案を策定・提示した。
B	63	士田	1998	国研	その他	線形計画法	北陸	水稲・畑作物	事例調査	線形計画法による農業経営設計の1つの参考事例である。適正な土地・機械施設・労働利 用、規模拡大による所得水準の変化、支払い可能借地料と機械施設の投資可能額などの諸 問題について線形計画法を適用し、意思決定に参考となる情報を提供した。
C	66	梅本	1996	国研	技術評価*	線形計画法	関東	水稲・畑作物・ 野菜類	事例調査	茨城県利根川下流域の大規模水田複合経営を対象に、線形計画法を用いて不耕起乾田直播 栽培技術による生産労働の省力化、労働配分の合理化、作業環境の改善などといった導入 効果を評価するとともに、不耕起乾田直播栽培技術が導入されるための条件を検討した。
C	40	南石ら	1998	国研	技術評価*	確率的目標計画法	関東	水稲・畑作物	事例調査・ 統計情報	茨城県新利根村の営農組合を対象に、降雨条件や機械整備水準などの多様な要因を総合的 に考慮した確率的目標計画モデルを作成して、不耕起乾田直播栽培技術の導入効果と定着 条件を解明した。
C	23	前川	1998	県研	技術評価	確率的目標計画法	北陸	水稲・畑作物	事例調査・統計 情報・県標準技 術体系	福井県坂井市平田地域の大型複合水田経営を対象に、降雨による機械作業リスクと収量の年 変動を考慮した確率的目標計画モデルを構築し、スターホイルトラクタを利用した湛水土 壌中直播栽培技術の導入効果を解明した。
C	24	前川	1998	県研	技術評価	確率的目標計画法	北陸	水稲・畑作物	事例調査	福井県坂井市平田地域の大型複合水田経営を対象に、降雨による機械作業リスクと収量の年 変動を考慮した確率的目標計画モデルを構築し、スターホイルトラクタを利用した湛水土 壌中直播栽培技術の導入効果を解明した。
C	4	遠藤ら	1999	県研	技術評価	確率的計画法	東北	水稲・畑作物	試験研究成果	山形県鶴岡市の大型複合水田経営を対象に、生育時の気象条件(温度)による刈取適期および収量の変動を 考慮した上で、直播栽培技術の導入効果を検討した。
C	27	松井	1999	県研	技術評価	線形計画法	関東	水稲・畑作物・ 野菜類	試験研究成果	栃木県の主穀作経営とイチゴを導入した水稲複合経営を対象に、線形計画法を用いて、汎 用管理機による湛水土壌中直播栽培技術および不耕起播種機による不耕起麦・大豆を導入 した際の作付構成の変化および経済性の検討を行った。
C	55	笹原	2005	県研	技術評価*	多段階計画法	九州	水稲・畑作物	事例調査	福岡県朝倉市夜須町の大型複合水田経営における、湛水土壌中直播栽培技術の1つである ショットカトン直播栽培技術(打込式代かき同時中点直播栽培技術)と水稲、大麦、大豆 の新品種を核とした新技術体系の導入効果と普及・定着条件を検討した。
C	44	仁平	2005	県研	営農計画	線形計画法	北海道	水稲・畑作物	事例調査	北海道南知の家族経営を事例に、大豆田植え後播種技術の導入、作業受託の新たな実 施、排水改善・施肥技術向上による単収および等級向上、米価低下に伴う地代の引き下げ などを想定し、転作補助金に頼らない望ましい経営の展開方向について検討した。
C	50	大石ら	2010	国研	技術評価	線形計画法	関東	水稲・畑作物	事例調査・ 試験研究成果	飼料用稲を生産し、菜種粗飼料用稲(稲WSC)への調整をコントラクターに委託する耕種 経営の線形計画モデルを作成し、埼玉県美里町の耕種経営における飼料用稲生産、新開発 の細断型収穫機導入の経営的評価を行った。

注：1) Aは学術雑誌、Bは一般刊行図書、Cは試験研究機関、大学等の学術刊行物に掲載された研究を示す。
2) 所属機関については、筆頭著者の所属を示す。具体的に、国研：国立研究機関、独立行政法人等、県研：都道府県の研究機関等、普及：都道府県の普及機関等、および、大学と略称している。
3) *は技術評価とともに、その評価対象となる技術の普及・定着条件を検討した研究であることを示す。

表3 畑作を対象とした数理計画法を援用した研究の一覧表

公表媒体	文献番号	著者	年次	所属機関	研究内容	分析手法	対象地域	対象作物	使用データ	研究課題
A	15	堀内	1981	国研	その他	線形計画法	北海道	畑作物・野菜類	事例調査	北海道の畑作物生産の概念的な分離、あるいは、短期的適応と長期的適応の区別について定量的な規範分析を試みた。
A	57	佐々木	1982	国研	その他	線形計画法	北海道	畑作物・野菜類	事例調査	北海道十勝地域の畑作経営を対象とし、①てん菜の価格が変化した場合、②てん菜・大豆の価格が変化した場合の畑作経営の作物構成の適格性の評価、③価格変化に対する作物相互間の関係を説明するもの、④個別経営におけるてん菜作の経営的適格性を評価した。
A	2	天野	1988	国研	その他	逐次計画法	北海道	畑作物	事例調査	北海道十勝地域の代表的な畑作経営の調査結果をもとに、単年度と複数年度にわたって、農地を追加的に購入した際にもたらされる農業所得の増加額（限取収益）を試算し、畑作経営における農地購入投資のあり方を検討した。
A	12	樋口ら	2001	大学	営農計画	多段階計画法	海外	畑作物・野菜類	事例調査	インドネシアの東ジャワ州マヤンガ村の畑作経営の調査結果をもとに、経営計画モデルを策定し、合理的な作物体系の検討を行った。複数年度に生産が主たる作物があることに対応するために、複数年度にわたる計画の算定が可能な多段階計画法が適用された。
A	3	天野	2006	国研	技術評価	線形計画法	北海道	畑作物・野菜類	試験研究成果	農業機械等緊急開発事業で開発された新型ヤベツ刈取機（HC10）・トラクタ搬送式機械収穫体系の特徴を紹介するとともに、この新体系が北海道十勝地域の畑作経営に導入可能とした場合の効果と課題について検討した。
A	13	樋口ら	2009	大学	技術評価*	線形計画法	北海道	畑作物	事例調査	緑ガタの支払い条件として経営耕地の全利用や妻わら、堆肥交換による堆肥施設等の条件を線形計画モデルに組み込んで、北海道十勝地域の大型畑作経営へのコントラクターによるてん菜自走式多畦取機種の導入メモリの導入と定着可能性を検討した。
A	14	樋口ら	2010	大学	技術評価	線形計画法	北海道	畑作物	試験研究成果	北海道十勝地域における集約トリモチを栽培・収穫し、酪農経営がそれを利用して乳牛（畑作経営が実取りトリモチを栽培・収穫し、酪農経営がそれを利用して乳牛に給与する）の収益性・妥当性を検討した。
B	1	天野	1985	国研	技術評価	線形計画法	北海道	畑作物	事例調査・試験研究成果	北海道十勝地域帯広市の排水不良地域の畑作経営における作物選択の親制要因と補助排水工法（心土破砕、浅暗渠）と新型てん菜移植機を導入した場合の作物構成の変化、経営経済効果を説明した。
B	16	堀内	1985	国研	営農計画	線形計画法	北海道	畑作物	事例調査	北海道網走市において、農業機械の共同所有と共同作業を行っている大型畑作経営農家の機械の合理的な整備計画・利用を明らかにした。工夫された点としては、営農集団を構成する個々の農業畑作経営の事例調査結果に線形計画法を適用し、農地、労働力、機械設備などの経営資源の限界条件を考慮させて、経営資源の投入効果を説明した。具体的には、数量化した経営資源の限界総収益力に対する畑作経営の評価の大きさを解明した。
B	17	堀内	1987	国研	その他	線形計画法	北海道	畑作物	事例調査	北海道十勝地域の河内郡界野町の大規模畑作経営を対象に、機械投資が有利に展開するため、機械の更新・投資の経済性と投資限界の検討を行った。ここでは、機械の更新・投資の経済性を、複数経営年度を対象とする長期計画の問題として位置づけている。
B	58	佐々木	1997	国研	技術評価	線形計画法	北海道	畑作物・野菜類	統計情報	北海道の畑作農業の動向を畑作物の収益性と酪農経営の動向から把握した。また、新規作物として野菜類を導入する経営を想定し、野菜類の導入による収益性の拡大の可能性と北海道における畑作農業の展開方向の検討を行った。
B	20	金岡	1998	国研	技術評価	線形計画法	北海道	畑作物・野菜類	事例調査	北海道の大規模畑作経営における野菜類の導入効果と野菜類を導入した場合の合理的な作物構成を検討した。①野菜類を導入しない、②1つの野菜の導入が可能、③複数の野菜の組み合わせた導入が可能、④全ての野菜を導入可能、のそれぞれの場合の試算結果を比較検討した。
B	59	佐々木	1998	国研	その他	逐次計画法	北海道	畑作物	事例調査・県産種技術体系	北海道十勝地域の河内郡界野町の大規模畑作経営を対象に、機械投資が有利に展開するため、機械の更新・投資の経済性と投資限界の検討を行った。ここでは、機械の更新・投資の経済性を、複数経営年度を対象とする長期計画の問題として位置づけている。
B	39	南石	1998	国研	営農計画	確率的線形計画法	海外	畑作物・水稲・野菜類	統計情報・試験研究成果	フィリピン、経営者のリスク運好に対応した作物計画案を提示した。リスクを考慮して利益を最大にする作物の組み合わせを計算する方法として、MOTADモデルが採用された。
C	56	佐々木ら	1972	県研	営農計画	線形計画法	東北	畑作物・野菜類・畜産	事例調査・統計情報・試験研究成果	主要畑地帯である青森県上北郡の北部の畑作単一経営と畑作複合経営（純畑作経営、畑作・野菜類複合経営）を想定し、線形計画法を適用し、営農類型別の適正な作物構成と所得拡大の方向の検討を行った。
C	33	長尾ら	1979	県研	技術評価*	線形計画法	北海道	畑作物・野菜類	事例調査	農業技術の経済的評価手法に関する知見を整理するとともに、労働力効果の観点から、北海道十勝地域界野町における100PS級トラクタを核とした新機械化体系の導入による規模拡大、所得増大、経営組織の集約化の可能性と導入条件の検討を行った。
C	21	金山	1989	大学	技術評価*	線形計画法	北海道	畑作物・野菜類	事例調査	①畑作物との作業競合があまり見られないごぼうの栽培型、②標準のごぼうの栽培型を導入した大規模畑作経営の線形計画モデルを作成し、北海道十勝地域の20ha～50haの大規模畑作経営における集約的作物の導入効果と導入条件を検討した。
C	6	後藤ら	2008	県研	技術評価*	不明	北陸	畑作物	試験研究成果	山形県界野町と米沢市の果樹試験結果をもとに、大豆・小麦立毛間播種技術の特徴と限界を紹介した。また、この大豆・小麦立毛間播種技術を導入することによる大豆・小麦の2年3作物体系の可能性と経済性を、さらにその導入条件の解明を試みた。
C	68	若林	2010	国研	技術評価	線形計画法	北海道	畑作物	事例調査	所得安定対策の施行と技術的変化を考慮した上で、北海道十勝地域の大豆栽培型を導入して大豆直播種技術（稲畦播種・多畦収穫）と加工用はいれいソノイコンデンシング栽培技術、大豆栽培型栽培技術、休閑緑肥を組み合わせた新しい畑作生産システムを導入する効果と可能性を評価した。
C	69	若林	2012	国研	技術評価*	線形計画法	北海道	畑作物	試験研究成果	てん菜直播栽培技術（稲畦播種・多畦収穫）と加工用はいれいソノイコンデンシング栽培技術、休閑緑肥を組み合わせた新しい畑作生産システムを導入する効果と可能性を評価した。休閑緑肥を組み合わせた新しい畑作生産システムを導入する効果と可能性を評価した。

注：1）白色は学術雑誌、ピンク色は一般刊行物に掲載された研究を示す。
 2）所属機関については、筆頭著者の所属を基す。具体的に、国研：国立研究機関、独立行政法人等、県研：都道府県の研究機関等、普及：都道府県の普及・定着条件を検討した研究であることを示す。
 3）*は技術評価ととも、その評価対象となる技術の普及・定着条件を検討した研究であることを示す。

物・野菜類」「水稲単作」の順で多いが、「水稲・畑作物・野菜類」に関する研究はすべて2000年以前のものである。

数理計画モデルを構築する際に使用されたデータは、事例調査によるものが最も多いが、試験研究成果、または事例調査に統計情報や試験研究成果を加えて使用した研究も多く見られる。

2) 数理計画法を援用した水田作経営研究の成果

以上のように、これまで日本の農業経営学分野における数理計画法を適用した水田作経営研究は、「技術の経営的評価」「営農計画」「その他」の3つに分類できる。ここでは、「技術の経営的評価」と「営農計画」の主要な研究成果を概観・整理する。

(1) 技術の経営的評価に関する研究

まず、水稲－麦－大豆2年3作の水田輪作体系の導入効果と定着の可能性を検討した研究として、土田^[62]がある。具体的には、土田^[62]は、新潟県白根市で早い段階から水稲－麦－大豆作に取り組んでいるA経営を事例に、圃場別・品種別の単収水準、播種時期の違いによる単収差、麦－大豆作後水稲の増収・減肥効果等を組み込んだ経営実態に即した線形計画モデルを構築し、良質米生産地帯における転作補助金の交付を前提にしない水稲－麦－大豆作の水田輪作体系の導入効果と定着の可能性を検討した。その結果、現行の水稲、麦、大豆の価格水準の下でも、一定の経営規模を超えると水稲－麦－大豆作の導入による増収益効果が期待できる。しかし、北陸地域特有の気象条件と麦の収穫適期や麦跡大豆の播種適期が短いことにより、水稲－麦－大豆作の導入による規模拡大効果は小さい。また、北陸地域のような良質米生産地帯における水稲－麦－大豆作は、あくまでも転作政策の下で、一定の農業所得を確保し土地資源の有効利用を図るという点で意味を持っているが、転作補助金を含めた政策的な支援がない限り、水稲－麦－大豆作の定着可能性は極めて低いと指摘している。

次に、大規模水田作経営を実現する中核技術の1つとしての水稲直播栽培技術に焦点を当て、その導入効果の解明を試みた研究として、南石ら^[36]^[40]、中原ら^[34]、梅本^[66]、宮本ら^[29]、前川^[24]、前川ら^[25]、遠藤ら^[4]がある。

南石ら^[36]は、茨城県新利根村の大規模水田専業営農組合を対象に、移植栽培技術と不耕起乾田直播栽培技術が同時に導入可能な場合と移植栽培技術のみが導入可能な場合を想定し、降雨による収穫・播種作業等が遅延・不能になるといった作業リスクと複数目標を考慮した確率的目標計画モデルを作成して、不耕起乾田直播栽培技術の導入効果を解明した。その結果、対象営農組合においては、移植栽培技術と組み合わせて不耕起乾田直播栽培技術を導入すべきであるが、収穫時期における多雨とコンバインの作業性が規模拡大の制約要因の1つになっているため、不耕起乾田直播栽培技術の導入による規模拡大効果は必ずしも大きいとは限らないことを示した。また、今後の課題として、不耕起乾田直播栽培技術の収益リスクを考慮した分析、開発目標新技術体系の評価に対応できる数理計画モデルの妥当性検証方法の開発などが必要であると指摘している。また、同様に、南石ら^[40]は、茨城県新利根村の営農組合を対象に、降雨条件や機械装備水準などの多様な要因を総合的に考慮した確率的目標計画モデルを作成して、不耕起乾田直播栽培技術の導入効果と定着条件を解明した。主要な研究成果としては、不耕起乾田直播栽培技術の導入規模は単収水準や経営面積以外にも、降雨条件や機械装備水準に規定されること、投入可能な労働力が減少するほど、不耕起乾田直播栽培技術に依存する傾向が強まること、経営耕地を作業限界に近い大規模面積で固定した時、転作がない場合、不耕起乾田直播栽培技術は重要な地位を占めるが、転作がある場合、不耕起乾田直播栽培技術による作付面積は僅かであることを示した。

中原ら^[34]は、福岡県の大規模稲麦二毛作経営と大規模稲(麦)作経営を対象に、線形計画法による移植栽培技術の規模限界の解明と部分整数計画法による開発途中の湛水土壌中直播栽培技術(条播)の導入効果(規模拡大効果・所得増大効果)の評価を試みた。その結果、湛水土壌中直播栽培技術は、稲麦二毛作地域と水稲単作地域における家族水稲作経営の規模拡大・所得向上を図る上で有効な栽培方法であること、湛水土壌中直播栽培技術がさらに有効な栽培方法として普及するためには、スクミリンゴガイ対策技術の確立と品種開発等による収量の安定確保の改善が重要であることを明らかにした。

梅本^[66]は、茨城県利根川下流域の大規模水田複合経営を対象に、線形計画法を用いて不耕起乾田直播栽培技術による生産労働の省力化、労働配分の合理化、作業環境の改善などといった導入効果を評価するとともに、不耕起乾田直播栽培技術が導入されるための条件を検討した。主要な成果として、不耕起乾田直播栽培技術の導入には、労働時間の短縮、労働配分の合理化や作業環境の改善などの効果と規模拡大効果があること、規模拡大を目的とした不耕起乾田直播栽培技術の導入を促進するためには、不耕起乾田直播栽培技術の単収水準の向上・安定化とともに、秋の収穫作業の省力化や作業期間の延長に対応する技術開発が必要であることを指摘した。

宮本ら^[29]は、兵庫県赤穂郡上郡町の大規模稲作農家を事例に、移植栽培技術との比較から、条播による湛水土壤中直播栽培技術と不耕起乾田直播栽培技術の導入によるコスト低減効果および規模拡大・所得向上効果を検討した。ここで想定された経営は、①移植栽培技術のみ、②移植栽培技術と湛水土壤中直播栽培技術、③移植栽培技術と不耕起乾田直播栽培技術の3つである。また、作付規模の限界算出には、移植栽培技術のみの場合は線形計画法が、移植栽培技術と直播栽培技術を組み合わせた場合は部分整数計画法が適用された。その結果、規模拡大効果と所得向上効果は③移植栽培技術と不耕起乾田直播栽培技術、②移植栽培技術と湛水土壤中直播栽培技術、①移植栽培技術のみの順で大きいこと、現在の技術水準では直播栽培技術は移植栽培技術と組み合わせられ、移植栽培技術の補完として位置づけられる傾向が強いことを指摘している。

前川^[24]は、福井県坂井平坦地域の機械共同利用・共同作業型の大規模水田生産組合を対象に、降雨による機械作業リスクと収量の年変動を考慮した上で、①直播栽培技術を導入しない、②直播栽培技術を導入するが、団地化しない、③直播栽培技術を導入し団地化する、の3つの確率的目標計画モデルを構築し、スターホイルトラクタを利用した湛水土壤中直播栽培技術の導入効果を解明した。導入しない場合に比較して、湛水土壤中直播栽培技術を導入した場合は農業所得が上昇するものの、大豆の作業と競合して、大豆の作付が減少する。しかし、直播栽培技術を導入し団地化した場合、

直播水稲と大豆ともに作付面積が拡大するとともに、農業所得の増大が可能となることを明らかにしている。

遠藤ら^[4]は、山形県鶴岡市の大規模水田作経営を対象に、生育予測モデルにより求めた減収率を確率的計画モデルに組み込んで、生育時の気象条件(温度)による刈取適期および収量の変動を考慮した上で直播栽培技術の導入効果を検討した。直播栽培技術の導入は作期分散により作付規模拡大と所得増加が期待できるが、収量と刈取適期の年次変動が大きいこと、その導入効果に差が生じること、複数品種を組み合わせることにより、作付計画には余裕が生じ、直播栽培技術の導入効果の向上が期待できることを示した。

前川ら^[25]は、福井県金津町の大規模水田生産組合を事例に、確率的目標計画法を適用し、規模拡大、労働省力、所得増大への湛直栽培技術の条播技術と散播技術の導入効果の比較検討を行った。同時に、技術評価に数理計画法を適用した際の機械作業時間の標準化方法も提示した。労働力が減少するほど、直播栽培技術導入による所得増大効果が大きくなり、その効果は条播技術より散播技術の方がやや大きいことを明らかにした。また、残された課題として、どの程度技術構造の違いを分析に反映できるかの検討、個々の播種方式の収量水準や収量変動に関するデータの収集・蓄積、労働強化や作業環境を考慮した分析、高齢者や兼業農家など全体の大部分を占める農家層が導入しやすい技術の開発の必要性を指摘している。

一方、水稲直播栽培技術とともに、その他の栽培技術および新機械体系等の導入効果の解明を試みた研究には、大野^[54]、松井^[27]、笹原^[55]、梅本^[67]がある。

大野^[54]は、愛媛県瀬戸内平坦地域の水稲稚苗移植・裸麦作経営を対象に、保有労働力から見た規模拡大の限界および新栽培技術(乳苗移植栽培技術と不耕起乾田直播栽培技術)の導入による規模拡大・労働省力効果を検討した。その結果、移植作業の分散が図れる不耕起乾田直播栽培技術を導入することにより、作付面積の拡大が期待できるが、数理計画モデル作成に当たって、気象条件の検討も必要であることを指摘している。また、現行の水稲稚苗移植栽培と不耕起乾田直播栽培技術を採用する方が得られる収益性が高いため、乳苗

移植栽培技術が採用されない結果となっていると指摘している。

松井^[27]は、栃木県の主穀作経営とイチゴを導入した水稲複合経営を対象に、線形計画法を用いて、汎用管理機による湛水土壤中直播栽培技術および不耕起播種機による不耕起麦・大豆を導入した際の作付構成の変化および経済性の検討を行った。その結果、主穀作経営の場合、汎用管理機による湛水土壤中直播栽培技術の導入効果として、春作業・秋作業の労働競合の分散が図れること、労働時間の短縮や機械の操業度向上によるコスト低減、育苗作業の省略による軽作業化に伴う規模拡大や複合化が可能になることがあげられるとしている。イチゴを導入した水稲複合経営の場合、汎用管理機による湛水土壤中直播栽培技術の導入効果は高く、水稲の育苗作業の省略により、他作目の品質向上や収穫期間の延長が図れる効果があるとしている。

笹原^[55]は、福岡県朝倉郡夜須町の大規模水田作経営における、湛水土壤中直播栽培技術の1つであるショットガン直播栽培技術（打込式代かき同時土中点直播栽培技術）と水稲、大麦、大豆の新品種を核とした新技術体系の導入効果と普及・定着条件を検討した。この研究の特徴は、通常1年単位で各営農プロセスを、旬単位で作業期間を設定するFAPSのシステムを修正し、6年間という長期間と半旬単位を扱える多段階計画モデルを作成した点にある。主要な成果としては、20ha以下の経営では、新技術体系を水稲移植栽培技術に置き換えて導入する方が有利であること、20ha以上の経営では、移植栽培技術と新技術体系を併用することが有利であること、新技術体系の普及可能性が大きいことを示した。

梅本^[67]は、水稲-麦-大豆の省力低コスト新栽培技術を核とした高生産性水田輪作体系の経営的評価を行った。具体的には、関東平坦水田地帯の大規模水田作経営を対象に、線形計画モデルを作成して、①水稲ロングマット水耕苗移植、②水稲不耕起乾田直播、③大豆不耕起狭畦栽培を組み込んだ4年6作の輪作体系の導入効果と普及条件の検討を行った。研究の特徴としては、ロングマット水稲苗移植の軽労化効果を評価するために、労働負荷値を「作業時間数×作業代謝率(RMR)×作業姿勢による負荷を示すOWASによる判定値」と

して総合化した数値として設定し、それら負荷値を用いて労働時間をウエイト付けして試算を行うことで、労働負荷を考慮した線形計画モデルを作成した点である。主要な成果として、それぞれの新栽培技術を組み込んだ輪作体系は、水田作経営の収益性向上に有効であり、今後農地の流動化が進むとすれば、新たな米政策改革大綱の推進の下でも、水田作経営の中に麦大豆作を定着させ、水田の高度利用に寄与することを示した。また、技術開発の方向として、不耕起播種機の走行距離当たりの投下量をモニタリングできる機能の開発、圃場別データの収集・解析等の必要性を指摘している。

水稲直播栽培技術以外のその他の新栽培技術や新機械体系等の導入効果の評価に着目した研究は、以下の研究がある。

大石ら^[50]は、飼料用稲を生産し、発酵粗飼料用稲（稲WSC）への調製をコントラクターに委託する耕種経営の線形計画モデルを作成し、埼玉県美里町の耕種経営における飼料用稲生産の経営的評価を行った。線形計画モデルは、水田面積規模が8haと16haの2つの類型を設定し、飼料用稲の収穫機として、従来からのフレール型を利用する場合と新開発の細断型を利用する場合を想定した。その結果、水田面積と飼料用稲作付の関連では、水田面積が増加するに伴い、飼料用稲作付は増加するが、その増加率は減少していくこと、細断型収穫機の利用は、飼料用稲の有効性を大きくし、飼料用稲作付のピークを高め、その後の減少率を小さくすること、購入費用を考慮しても細断型収穫機の導入による経済効果が大きいことを明らかにしている。

土田^[64]は、良質米生産地帯である北陸地域の耕種経営を対象に、作業競合回避技術と品質・単収向上省力技術が開発されている、飼料用稲-大麦-飼料用稲2年3作体系の導入効果と定着条件について検討した。その結果、水田の高度利用に対して助成金のさらなる上乗せがないかぎり、個別農家レベルでは飼料用稲-大麦-飼料用稲2年3作体系の成立は難しいこと、転作作物としての飼料用稲と大麦の生産が北陸地域で拡大するには、両作物の生産費が回収できるような助成金額の確保と大豆並の助成水準の維持が必要であること、飼料用稲の収穫用機械費の低減、さらには飼料用

稲と大麦の団地的土地利用が不可欠であり、それを実現するための地域的取り組みが重要となることを指摘している。

塩谷ら^[61]は、新潟県で水稲-麦-大豆2年3作体系に取り組んでいる大規模水田作経営を対象に、麦稈鋤き込み・耕うん・畝立て・播種を一工程化し、作業能率向上を図る麦と麦後大豆に関する汎用利用技術の導入による所得向上効果、2年3作体系の定着・促進効果の事前評価を行った。開発中の麦・大豆汎用利用技術の導入により、麦と大豆収量増加による所得向上効果、水稲-麦-大豆2年3作体系の定着促進効果が認められること、一層の水稲-麦-大豆2年3作体系の定着促進には、麦収穫時期を前進させる品種の選定・導入の検討や麦収穫後の大豆播種作業時期における作業性向上のための同技術の高速化など、さらなる合理的な作業体系の検討が重要であることを指摘している。

松本ら^[28]は、滋賀県の法人経営の実態調査をもとに、線形計画法を適用し、地下水水位制御システム「FOEAS」の導入による経済性および水田作への影響を評価するとともに、汎用化水田による水田作経営の展開可能性を解明した。その結果、地下水水位制御システムの導入条件として、次の3点を指摘している。①10a当たりの導入コストが2.2万円～2.3万円程度であること、②通常田の10a当たり収量より少なくとも0.5俵～1俵の収量増加が期待できること、③地下水水位制御システムは単作ではなく二毛作で利用されること。また、地下水水位制御システムを導入することにより、畑作物の土地生産性の向上による畑作物収益の向上が確認できるとともに、水田作経営における畑作物の収益部門化への期待が高められることを示した。

(2) 営農計画に関する研究

水田作経営の営農計画の策定を試みた研究として、以下の研究があげられる。

樋口^[8]は、岡山県津山市の小規模安定兼業農家を対象に、経営目標として、①所得が500万円以上、②最低所得が400万円以上、③余暇日は2日(10日間ごと)を設定し、目標計画法を用いて農家の条件や意向に応じた望ましい営農計画の提示を試みた。想定する経営は、①転作なし(現状)、②転作田に自給野菜を導入、③転作大豆と転作大麦の導入、④積極的に転作と借地を導入という4つで

ある。その結果、転作をしない現状では、所得と最低所得はともに目標を満たせないが、余暇については目標を達成しているため、集約作物の導入が可能であること、転作田に自給野菜を栽培する場合、現状より所得と最低所得が減少するとともに、野菜に手間がかかり余暇はほとんどなくなること、機械を購入し本格的に転作を行う場合、所得、最低所得、余暇のいずれも目標を達成しないが、所得と最低所得の確保はある程度できることを明らかにしている。また、樋口^[9]は、岡山県加茂川町円城地区農家を事例に、農家行動の差異は農家目標の差異によって規定されると仮定し、調査から把握した複数の目標を目標計画モデルに組み込んで、①個別完結経営、②専業経営、③兼業経営の3つのタイプの営農計画案を策定した。また、策定した営農計画案の現実性・妥当性も検討した。その結果、目標計画法を適用し農家の現実の実態に即した計画モデルを構築するために、特に目標の種類、目標間の優先順位、要求水準を表す目的値として把握した農家の持つ目標構造を計画モデルに組み込むことにより、より農家の現実に即した計画の策定ができることを報告している。さらに、樋口^[10]は、岡山県津山市平福集落三協農産組合による調査結果をもとに、3戸の兼業農家から結成された営農集団において、個々農家の目標と集団運営目標を同時に追求できる目標計画モデルを構築し、個別農家と営農集団の両方が満足するような計画案を策定・提示した。その結果、三協農産組合の営農計画案として妥当性のある4つの計画案の策定を提示した。

宗像^[32]は、稲作の北限地帯である北海道士別市の営農計画の検討を試みた。具体的には、①線形計画法による米価が変化した場合の稲作経営の営農計画、②目標計画法による経営者年代・経営目標別の稲作経営の営農計画の検討を行った。その結果、米価が変化した場合の稲作経営の優位性は、雇用の調達が順調に達成されるか否かによって大きく左右されること、米価が減少すると規模の小さい経営では、収益性の低い畑作物の優位性はなくなり、野菜類のみでの所得確保をする必要があることを明らかにした。また、経営者年代・経営目標別の稲作経営の営農計画として、ある一定以上の期待所得を得ることを目標とした40～50歳代では、借用農地を導入して所得拡大を図る、最

低所得と余暇を目標とした60歳代の経営では、余った農地を貸し出す方が望まれると指摘している。

黒河^[22]は、北海道の大都市である札幌市に隣接している石狩市における営農計画と農業経営組織のあり方について検討した。具体的には、線形計画法を用い、様々な野菜類の導入、借地による経営規模拡大、農業経営組織化による労働規模の拡大による効果を検討した。主要な成果として、大規模経営では、稲作を大規模に展開させ、余った労働時間を活用して現状より野菜の種類を増やした方が良いこと、中小規模経営では、野菜作りにシフトした作付構成をとることが望ましいことを指摘している。また、経営収支は、経営面積規模に比例して増加することから、数戸の家族経営による法人経営の経営展開の可能性があると指摘している。

鶴岡^[65]は、千葉県の大規模稲作経営をもとに、水稻作付面積に及ぼす個々の圃場条件の影響を解明するとともに、その改善のための具体的方策の提示と規模拡大の可能性の検討を試みた。この研究は、類型化した圃場条件ごとに、生産管理行動と標準化した作業時間を取り組んだ面積最大化の線形計画モデルを策定した点に特徴がある。主要な研究としては、零細圃場の解消を図ろうとした時に、遠隔な圃場であっても、整備水準が高く作業単位以上の団地化がされていれば、そこで規模拡大を図ることが有効な方策であること、効率の良い圃場の増加とともに、収益が期待できる品種の作付比率が増加し収益の向上も可能となることを明らかにした。

藤井ら^[5]は、滋賀県の大規模水田作経営（家族経営）を想定し、目標計画法を適用し、低米価時代における①作業委託、②湛水土壤中直播栽培技術の導入（機械のレンタル方式）、③期間借地による小麦栽培、④米の直接販売の4つの所得改善方策の導入による所得改善の可能性を検討した。作業委託、機械のレンタル方式の湛水土壤中直播栽培技術の導入、期間借地による小麦栽培、米の直接販売などといった所得改善方策に取り組むことによって一定の所得改善が図れるが、現在の米価水準では目標農業所得の850万円の達成は容易でないこと、生産調整補助金や稲作経営安定対策等の補助金は経営上の重要な所得の源泉であり、大規模水田作経営に及ぼす政策的支援の動向の影響

が大きいことを指摘している。また、所得改善方策の実現を円滑にするための地域的な支援や担い手との連携等による対策や低米価がさらに進めば、有機栽培や複合化、事業の多角化等を含めた経営展開の再構築が必要になると提言した。

八木ら^[70]は、農地面積に占める水田の割合が高い東北、北陸、近畿、中国の4つの地域を対象に、中山間地域における大規模水田経営の経済的な成立可能性に及ぼす生産条件別の圃場の賦存量および直接支払い制度の影響を検討した。現行の技術水準では、中山間地域で20haの水田経営が成立する生産基盤上の可能性が十分にあること、直接支払い制度が集落範囲に限定されるため、所得へのインパクトの差があること、直接支払い制度の考慮の下でも、10aの狭小区画より、遠方30a区画の農地をできるだけたくさん集積する方が効率的であることを示した。また、八木ら^[71]は、都市近郊部である埼玉県北部の土地改良区を対象とし、水稻作の土地・労働生産性への都市化の影響、水利施設の維持管理費用の有無が、水田利用の意思決定および農業所得に与える影響の解明を試みた。具体的には、農家アンケートや土地改良区資料を用いて地域特有のデータを地区単位に整理した後、数理計画法を用いた地区分級モデルを構築し、都市化の影響と水利施設の維持管理の負担を考慮した上で、将来の水田利用の方向性の提示を行った。その結果、水田の利用転換に伴って、効率的に水利施設の維持管理範囲を減らすことにより、相当程度まで採算性を維持することが可能であること、地区個別の水田生産性のみならず、その地区の水利施設の維持管理負担を考慮することは、生産経済上の効率低下分を算出することであり、必要な財政的な支援の提言が可能であることを指摘している。

仁平^[44]は、北海道南空知の家族経営を事例に、大豆田植え後播種技術の導入、作業受託の新たな実施、排水改善・施肥技術向上による単収および等級向上、米価落下に伴う地代の引き下げなどを想定し、線形計画モデルを構築して転作助成金に頼らない望ましい経営の展開方向について検討した。転作助成金がない下では、転作にシフトする方が収益性が高いこと、転作を展開する際に、水稻田植え後の大豆播種技術の導入、大豆・小麦の単収および品質の向上、地代の引き下げが重要な

課題であることを明らかにした。

千田ら^[60]は、中国地域の2戸の法人経営を事例に、米価と転作飼料作物への交付金変化の影響を考慮した上で、飼料用米、稲WCS、トウモロコシ、牧草の導入効果を評価し、水田飼料作経営の成立条件を検討した。さらに、各飼料作物の生産コストの比較分析を行い、水田の利活用、国産飼料の増産を推進するための施策を提示した。その結果、2013年産の米価水準と2014年度以降の米の直接支払交付金水準の下では、飼料用米に対する2014年度の交付金水準が維持されれば、生産調整なしでも主食用米よりも飼料用米や稲WCSなど飼料作物生産が選択されること、長期的には、農繁期に臨時雇用の導入と多くの投資が必要な移植栽培による稲WCSや飼料用米を中心に生産するよりも、多収の品種や直播栽培技術による稲WSCの生産、収穫受託に加えてトウモロコシ等の飼料作を導入する方が所得が高いことを示した。

一方、海外の農業経営の経営計画の策定に関して、インドネシアのジャワ島の典型的な棚田農村の東ジャワ州マジャングテンガ村とスマトラ島アチェ州の平地農村マニユチュット村における水田農業の経営計画の策定と資金や土地、労働力など経営資源の評価を行った樋口ら^[11]の研究がある。樋口ら^[11]は、目標計画法を適用し、収益性の高い米は主要な農産物であり、トウモロコシや大豆の収益が落ちる時や信用や労働力が足りない時に作付が増加すること、水田農家にとって信用力の確保が重要であり、スマトラ島などでは、KUDによる金融の整備が急務な課題であること、過剰就業の農村部では、水田の利用率向上や集約作物の導入などの就業機会の拡大が課題であることを指摘している。

2. 数理計画法を援用した畑作経営研究

1) 数理計画法を援用した畑作経営研究の動向

1970年代以降の畑作経営に対して数理計画法を適用した研究は20編を取り上げることができる。水田作経営の研究とは異なり、研究の主な担い手は国の研究機関である。畑作経営は栽培する地域や品目によってその性格や特質が大きく異なるため、現場に深く関わりを持つ国の研究機関が関心を寄せていることが考えられる。他方、都道府県の研究機関と大学の研究はそれぞれ2編、4編ある

が、大学の場合、著者の以前の所属機関が国の研究機関になっているものがほとんどである。

研究内容は、水田作経営研究と同様に、大きく「技術の経営的評価」「営農計画」「その他」の3つに分類できる。「技術の経営的評価」が11編と最も多く、続いて「営農計画」が4編、「その他」が5編の順である。

分析手法は、長期にわたる経営計画案の作成ができる逐次計画法や多段階計画法を適用した研究もあるが、それぞれ2編と1編に過ぎない。これに対し、線形計画法の適用が一般的であり、全体の75%を占めている。分析システムについては、明確に記した研究は半数以下であるが、その中で、松原茂昌作成プログラムとXLPがそれぞれ3編となっている。CLPとmicro-NAPSはそれぞれ1編である。その一方、市販システムのLindo「What's Best」の適用も見られる。

対象地域は、大規模畑作経営が展開されている北海道が主な対象であり、全体の80%以上を占める。東北と北陸などのその他地域の畑作経営に関する研究は2編に過ぎない。また、海外の畑作経営を対象とした研究は2編ある。対象作物に関しては、ほとんどの研究では「畑作物」、または「畑作物・野菜類」を対象としている。使用データは水田作経営の研究と同様に、事例調査、試験研究成果、事例調査・試験研究成果・統計情報の順が多い。

2) 数理計画法を援用した畑作経営研究の成果

以下では、主として「技術の経営的評価」と「営農計画」の2つの研究領域の主要な研究成果を概観・整理する。

(1) 技術の経営的評価に関する研究

畑作経営の収益性を改善することが期待できる集約的作物である野菜類の導入効果の評価を試みた研究として、金山^[21]、佐々木^[58]、金岡^[20]がある。

まず、金山^[21]は、①畑作物との作業競合があまり見られないごぼうの栽培型、②標準のごぼうの栽培型を導入した大規模畑作経営の線形計画モデルを作成し、北海道十勝地域の20ha～50haの大規模畑作経営における集約的作物である野菜類の導入効果と導入条件を検討した。その結果、個

別の大規模畑作経営における畑作物との労働競合を回避したごぼうの栽培型は、安定的かつ有効的であり、経営全体の収益性を高める可能性が高い。しかし、労働生産性が低いため、導入に対する誘因が低い。一方、標準のごぼうの栽培型は、労働生産性が高く、導入される誘因は存在するものの、価格変動による生産の不安定問題があることを示した。また、大規模畑作経営において、野菜類生産を展開していくためには、これまでの畑作物の作付決定に関わる農家の期待形成をより長期的なものへ転換していくことが重要であることを指摘している。

佐々木^[58]は、北海道の畑作農業の動向を畑作物の収益性と農家経済の動向から把握した。また、新規作物として野菜類を導入する経営を想定し、野菜類の導入による収益性の拡大の可能性と北海道における畑作農業の展開方向の検討を行った。新たな作物としての野菜類の導入は、既存畑作物に代替して作付されるとともに、経営収益の増大にその有利性が認められること、小規模経営は面積規模の大きさに対し利用可能な労働力に余裕があるため、労働集約的な野菜類の作付けが有利に展開すること、野菜類を導入するに当たっては雇用労働の確保が重要な課題であること、野菜類が長期的に有利に展開するためには、既存畑作物に野菜類を取り込んだ輪作体系の確立が重要であることを示した。

同様に、金岡^[20]は、北海道の大規模畑作経営に野菜類を導入することによる収益性拡大の可能性と野菜類を導入した場合の合理的な作付構成を検討した。具体的には、①野菜類を導入しない、②1つの野菜の導入が可能、③複数の野菜の組み合わせの導入が可能、④全ての野菜を導入可能、の4つの線形計画モデルを作成し、それぞれの試算結果の比較検討を行った。現状の経営規模(25ha)では、カボチャ以外の野菜類を導入することにより、慣行の畑作物経営に比べて農業所得が向上すること、農業所得の向上を図る手段として、野菜類を導入した場合、雇用労働の確保が重要であることを示した。

一方、省力・低コスト化栽培技術および新機械体系の導入効果を経営の視点から評価した研究として、以下の研究がある。

長尾ら^[33]は、農業技術の経営的評価手法に関する

知見を整理するとともに、労働省力効果の視点から、北海道十勝地域芽室町における100PS級トラクタを核とした新機械化体系の導入による規模拡大、所得増大、経営組織の集約化の可能性とを検討した。さらに、100PS機械化体系の導入条件も検討した。100PS級トラクタの導入により、労働省力効果と規模拡大効果が図れるとともに、根菜類・豆類の作付面積の拡大が可能になること、経営組織の集約化による所得向上が100PS級トラクタの導入条件であることを示した。

天野^[1]は、北海道十勝地域帯広市の排水不良地域の畑作経営における、作物選択の規制要因と補助排水工法(心土破碎、浅暗渠)と新型てん菜移植機を導入した場合の作付構成の変化、経営経済効果を解明した。排水不良地域では、根菜類の作付適期の制約と収量の低位が作物選択を規定し、豆類の作付に依存した収益性の低い作物構成となること、補助排水工法がもたらす春作業前進効果と増収効果により、根菜類の作付比率が増加し、比例利益増加による追加投資の回収ができるため、経済性が認められること、浅暗渠に比べて少ない投資で大きい増収効果が期待できる心土破碎の経済性が高いこと、新型てん菜移植機の導入による経済性は大規模経営で比較的大きいことを指摘した。また、天野^[3]は、農業機械等緊急開発事業で開発された新型キャベツ収穫機(HC10)・トレーラ搬送式機械収穫体系の特徴を紹介するとともに、この新体系が北海道十勝地域の畑作経営に導入可能とした場合の効果と課題について検討した。新型キャベツ収穫機(HC10)・トレーラ搬送式機械収穫体系を導入することにより、省力効果がもたらされ、キャベツの作付が拡大するとともに、収益拡大が図られること、新体系の導入による経済性があり、軽労化効果も高いため、新体系の導入は合理的であることを示した。また、キャベツ収穫機に関する今後の課題として、一層の普及を図るため、より安価で手軽なシステムとして提供することが望まれることを指摘した。

後藤ら^[6]は、山形県飯豊町と米沢市での実証試験結果をもとに、大豆・小麦立毛間播種技術の特徴と限界を紹介した。また、この大豆・小麦立毛間播種技術を導入することによる大豆-小麦-大豆2年3作体系の可能性と経済性、さらにその導入条件の解明を試みた。大豆・小麦立毛間播種技

術の導入により、大豆－小麦－大豆2年3作体系が可能となり、高度な土地利用が図られ、収益性が向上すること、雑草発生量が多い圃場や大豆中耕培土の実施を逸した圃場では、小麦収穫後に耕起を実施する大豆－小麦－大豆2年3作体系がより安定した輪作体系であること、大豆－小麦－大豆2年3作体系は、農地と労働力の有効利用が図られ、労働生産性も確保されることから、団地化される農地の利用ができる集落営農組織による導入効果が期待されることを示した。

樋口ら^[13]は、北海道十勝地域の大規模畑作経営へのコントラクターによるてん菜自走式多畦収穫機のテラドス（ドイツ製の直播6畦用収穫機）の導入メリットと定着可能性を検討した。現実妥当性のあるモデルを構築するために、緑ゲタの支払い条件として経営耕地の全利用や麦わら・堆肥交換による堆肥施設等の条件を線形計画モデルに組み込んでいる。テラドス導入によって作付構成が変化するような経営展開は、てん菜収穫と作業競合する長いも栽培の経営で部分的に見られること、テラドスの処理可能面積は大きい、導入コストが高いため、共同もしくはコントラクターの利用が必要であること、てん菜収穫機が更新時期にあり、テラドスの耐用年数を15年以上あると考える経営では、利用可能な委託料金は5千円以下であることを明らかにした。また、樋口ら^[14]は、北海道十勝地域における実取りトウモロコシに対する畑作経営と酪農経営の連携システム（畑作経営が実取りトウモロコシを栽培・収穫し、酪農経営がそれをサイレージにして乳牛に給与する）の現実性・妥当性を検討した。主要な成果は、実取りトウモロコシに対する酪農経営の評価が畑作経営の評価よりも低いため、トウモロコシの栽培と経営間の連携の成立の可能性がないこと、実取りトウモロコシに対する経営間の連携の成立を図るためには、実取りトウモロコシの生産コスト削減、地力維持・向上機能の検討が重要な課題であることを指摘している。

若林^[68]は、現状の畑作生産性を統計的に把握するとともに、水田・畑作経営所得安定対策の施行と技術的变化を考慮した上で、北海道十勝地域の大規模畑作経営におけるてん菜直播栽培技術、加工用ばれいしょソイルコンディショニング栽培技術、大豆狭畦栽培技術、休閒緑肥を組み合わせた新し

い畑作生産システムの導入効果と可能性を評価した。作物ごとの作付規模別、期間別全要素生産性の計測結果から、作付規模が拡大するほど、生産性が逡減、または停滞、縮小するスケールがあり、規模の経済性は必ずしも発揮されないこと、低コスト化と規模拡大を両立するために、生産性の向上を図る低投入型の技術開発が求められることを明らかにした。また、新技術体系の評価結果から、新技術体系の導入により、大幅な省力化が可能となるが、必ずしも低コスト化に結びついていないこと、低コスト化という目標に対しては、収量増加、または低投入を可能にする技術改善が求められることを明らかにした。さらに、新技術体系の導入効果の評価結果から、それぞれの新技術体系の導入は、規模拡大効果と大幅な所得増大効果をもたらすこと、新技術体系の効果を最大に発揮するために、戦略的な防除体系の確立が必要であること、てん菜とばれいしょの新技術体系は天候や作業制度によって大きく左右されるため、収量の安定化・向上を図るための技術開発が求められることを明らかにした。また、同様に、若林^[69]は、てん菜直播栽培技術（狭畦播種・多畦収穫）と加工用ばれいしょのソイルコンディショニング栽培技術の新技術体系の概要と省力効果を紹介するとともに、北海道十勝地域においてこれらの新技術体系を導入した場合の効果と導入されるための条件を検討した。その結果、各新技術体系を組み合わせた新生産体系の導入は、作業競合の一層の緩和をもたらし、規模拡大のみならず、経営の所得向上を可能にすることを明らかにした。また、残された課題として、収量や品質の向上、肥料や農薬費の削減を実現できる栽培技術の確立、精密な栽培技術や栽培管理のあり方の検討の必要性を提言している。

（2）営農計画に関する研究

数理計画法を適用して、日本の畑作経営の営農計画の策定を試みた研究には、佐々木ら^[56]、堀内^[16]が存在する。

佐々木ら^[56]は、主要畑地帯である青森県上北郡の北部の畑作単一経営と畑作複合経営（純畑作経営、畑作・野菜経営、畑作・畜産経営）を想定し、線形計画法を適用し、営農類型別の適正な作付構成と所得拡大の方向の検討を行った。その結果、

青森県の畑作経営の所得拡大の方向として、既存畑作物の生産性向上の他に、野菜と乳牛の導入がある。野菜については、所得増大に寄与するものとして長いもと加工用トマトがあげられる。一方、乳牛については、乳量や牧草の高い生産水準が得られる経営では、酪農は有利な導入展開を示すことを指摘している。

堀内^[16]は、北海道網走市において、農業機械の共同所有と共同作業を行っている大規模畑作営農集団の機械の合理的な装備計画・利用を明らかにした。工夫された点としては、営農集団を構成する個々の農家ごとに、プロセスと制約条件を設定したことである。プロセスは個別農家の作付プロセスと労働プロセス、集団所有の機械プロセスの3つが設定され、制約条件は農家資源制約の他に、営農集団の活動を示すオペレーター労働需給バランスと機械用役の需給バランスが設定された。なお、機械プロセスは部分整数計画法を利用した。その結果、現状よりもさらに効率的な機械利用の可能性を示した。

一方、海外の畑作経営の営農計画の策定に取り組んだ研究には、南石^[39]、樋口ら^[12]がある。

南石^[39]は、フィリピン・ルソン島北西部の畑作経営を対象とし、収益変動や価格変動に伴う収益リスクを考慮し、経営者のリスク選好に対応した作付計画案を提示した。ここでは、リスクを考慮して利益を最大にする作物の組み合わせを計算する方法として、MOTAD（絶対偏差和最小化）モデルが採用された。主要な成果としては、リスクおよびリスクに対する経営者の態度が、最適な作物組み合わせの選択に及ぼす影響が大きいこと、リスクの回避の程度と労働投入量の間には明確な関係が見られないこと、リスク回避型の経営ほど、高収益・高リスクの少数作物の組み合わせから低収益・低リスクの多数作物の組み合わせへ移行することを明らかにした。

樋口ら^[12]は、インドネシアの東ジャワ州マジャンゲン村の畑作経営の調査結果をもとに、経営計画モデルを策定し、合理的な作付体系の検討を行った。複数年度に生産がまたがる作物があることに対応するために、複数年にわたる計画の策定ができる多段階計画法が適用された。営農計画の結果より、約2haの畑を使用して、1日1万Rpの所得目標を達成する経営が可能であること、雨

季に入る前後の農繁期に雇用労働が不足気味になり、労働の季節性があまり見られない水田農業と異なること、合理的な作付体系は、さとうきびが主要な作物であり、その連作を回避するためにキャッサバ・トウモロコシ混作とパパイアが作付されるが、その作付の順序は不明瞭であることを指摘している。また、今後の課題として、家族労働を中心とした小規模農家とその他のタイプの検討、長期経営計画策定のために、正確、かつ安定した価格と労賃のデータの必要性を提言した。

Ⅳ おわりに

本稿では、農業経営学分野における各種の数理計画法と数理計画システムの概要を整理するとともに、学術論文・雑誌、大学や研究機関の研究資料等から収集した数理計画法を援用した既往研究の動向と主要な研究成果の整理を試みた。

数理計画法の適用上の問題点に関する議論を整理した結果、数理計画法を用いた研究を推進するためには、各分析手法・システムが有する分析力や特徴の具体的な整理、分析手法・システムの選択からモデル構築までの作業に関する利用者の理論的・実証的な習熟度に応じたサポートの提供ができる研究環境の整備が必要であることが明らかになった。

また、数理計画法を援用した研究の情報と主要な研究成果を概観・整理した結果、次のことが明らかになった。

第1に、水田作・畑作部門における数理計画法の主な利用者は国や都道府県の研究機関であり、大学や普及機関の利用は極めて少ない。

第2に、水田作経営研究では、農業技術の経営的評価に関して、2000年代前半までは多様な水稻直播栽培技術が多く検討されていたが、近年、麦・大豆の新栽培技術、飼料用稲を組み入れた輪作体系や地下水位制御システムなどの関連技術の導入効果の評価が注目されている。水田作経営の収益性・生産性向上という視点から、水田作経営による飼料用稲生産の経済性の分析、圃場の排水対策は特に重要になり、今後それらの研究成果の蓄積が重要になる。

第3に、畑作経営研究では、農業技術の経営的評価に関して、普通畑作物の輸入自由化、畑作物の価格や政府による支援価格の低下の影響を受け、

野菜類などの新作物の導入効果がこれまで多く検討されてきたが、近年、新機械体系、省力・低コスト化栽培技術・新機械体系の検討が多くなっている。新機械体系の導入が有利に展開するために、新機械体系の投資の限界や経済性の検討が重要になる。

第4に、水田作・畑作経営に数理計画法を適用して、新栽培技術、新機械体系および新作物等の導入効果を評価した研究が多いにも関わらず、評価対象となる技術の普及・定着条件を検討する研究は極めて少ない。これら開発技術が営農現場に普及・定着するためには、個々の経営体の経営資源（土地、労働力、資本等）の相互関連の検討とともに、農業経営者の技術の導入行動の解明が不可欠である。

以上では、水田部門と畑作部門を対象とし、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と特徴を整理した。しかし、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と特徴を体系的・総合的に把握するためには、海外の既往研究を対象とした上で、園芸部門、畜産部門、果樹部門に関する既往研究の動向および課題の整理が必要である。この点については、今後の課題として残されている。

注

- 1) 南石が開発した数理計画システムとしてのFAPSなどの開発プロセスにおいて、これらの問題点に対する取り組みが見られる。
- 2) 従来の自動化システムでは、必ずしもユーザーフレンドリな環境の構築に成功しているとは言えないという批判的考察であると理解できる。また、大石が参加して開発した数理計画システムとしてのBFMやZ-BFMなどの開発プロセスにおいて、これらの問題点に対する取り組みが見られる。
- 3) 公開Webサイト (2015年12月2日参照)
CLP <http://39you.net/xlp/clp.html>
CLP for Windows <http://39you.net/xlp/clp4win.html>
- 4) 公開Webサイト (2015年12月2日参照)
XLP <http://39you.net/xlp/>
英語版 XLP http://39you.net/xlp/xlp_e.html
- 5) 公開Webサイト (2015年12月2日参照)

- SP4XLP <http://39you.net/xlp/sp4xlp.html>
- 6) 公開Webサイト (建設中) (2015年12月2日参照)
DP4XLP <http://39you.net/xlp/dp4xlp.html>
 - 7) 公開Webサイト (2015年12月2日参照)
BFM <http://39you.net/xlp/bfm.html>
英語版 BFM http://39you.net/xlp/bfm_e.html (建設中)
 - 8) 公開Webサイト (2015年12月2日参照)
Z-BFM <http://fmrp.dc.affrc.go.jp/programs/farmplanning/z-bfm/>
経営指標管理支援プログラム <http://fmrp.dc.affrc.go.jp/programs/farmplanning/bfd/>

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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』, Vol.26, No.2, pp.11-22.
- [3] 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』, Vol.68, No.1, pp.4-8.
- [4] 遠藤宏幸・須藤英弥 (1999) : 「生育予測モデルを考慮した水稻直播栽培の経営的評価」, 『東北農業研究』, No.52, pp.261-262.
- [5] 藤井吉隆・南石晃明 (2003) : 「低米価格時代における大規模水田作経営の経営改善の可能性」, 『農業経営研究』, Vol.41, No.1, pp.55-60.
- [6] 後藤克典・鈴木洋・長岡正三 (2008) : 「ダイズ・コムギ立毛間播種輪作体系に向けた作業技術開発と経営的評価」, 『山形県農事研究報告』, No.40, pp.43-67.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 樋口昭則 (1997) : 「集団の営農計画」, 『農業における多目的計画法』, 総合農業研究叢書第30号, pp.96-133.
- [10] 樋口昭則 (1997) : 「集団の営農計画」, 『農業における多目的計画法』, 総合農業研究叢書第30号, pp.170-192.
- [11] 樋口昭則・Fauzi・Munandar (1999) : 「インドネシアにおける水田農業の経営計画：東部ジャワと北スマトラとの比較分析-」, 『農業経営研究』, Vol.37, No.2, pp.113-118.
- [12] 樋口昭則・香川文庸・Bintoro・MUNANDAR (2001) : 「インドネシアにおける畑作農業の経営計画：東部ジャワ州マジャンゲンガ村を事例として」, 『農業経営研究』, Vol.39, No.1, pp.161-166.
- [13] 樋口昭則・渡邊大樹・仙北谷 (2009) : 「てん菜自走式多畦収穫機の定着可能性の検討」, 『農業経営研究』, Vol.47, No.1, pp.70-75.
- [14] 樋口昭則・樋口聖哉・渡邊大樹・仙北谷康 (2010) : 「実取りトウモロコシの経営的評価：酪農経営と畑作経営の連携を前提とした評価」, 『2010 日本農業経済学会論文集』, pp.30-37.
- [15] 堀内久太郎 (1981) : 「畑作経営の規模と集約度線形計画法の適用による静態論的研究」, 『農林業問題研究』, Vol.17, No.1, pp.15-22.
- [16] 堀内久太郎 (1985) : 「畑作経営集団の経営管理と組織運営」, 『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.89-127.
- [17] 堀内久太郎 (1987) : 「経営資源の収益力」, 『大規模畑作の経営計画』, 総合農業研究叢書第11号, pp.65-93.
- [18] 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』, Vol.36, pp.1-150.
- [19] 今村幸生 (1969) : 『農業経営設計の理論と応用』, 養賢堂.
- [20] 金岡正樹 (1998) : 「普通畑作経営における作物選択と雇用利用」, 『線形計画法による農業経営の設計と分析マニュアル』, 農業研究センター, pp.89-100.
- [21] 金山紀久 (1989) : 「大規模畑作経営における集約的作物の導入とその展開条件に関する分析」, 『鳥取大学農学部研究報告』, Vol.42, pp.135-143.
- [22] 黒河功 (1997) : 「都市近郊地帯における農業問題と経営計画：石狩市における農業経営組織化の方向」, 『農業経営研究』, Vol.23, pp.77-91.
- [23] 前川英範 (1998) : 「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)』, Vol.12, pp.18-30.
- [24] 前川英範 (1998) : 「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)』, Vol.12, pp.31-44.
- [25] 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』, Vol.37, No.3, pp.31-41.
- [26] 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.
- [27] 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』, No.90, pp.61-64.
- [28] 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』, Vol.51, No.2, pp.25-30.
- [29] 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』, Vol.36, No.2, pp.25-34.
- [30] 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.
- [31] 溝田俊之 (2012) : 「第I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.
- [32] 宗像政美 (1997) : 「農業経営計画法による経営改善の検討：士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』,

- Vol.23, pp.45-63.
- [33] 長尾正克・村井信仁 (1979) : 「100PS トラクタ体系の経営的評価」, 『北海道立農業試験場集報』, Vol.41, pp.67-80.
- [34] 中原秀人・堀内久太郎 (1996) : 「家族経営における水稲直播栽培導入の可能性」, 『農業経営研究』, Vol.34, No.3, pp.78-81.
- [35] 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 Vol.35, No.8, pp.481-484.
- [36] 南石晃明・長野間宏・小柳敦史 (1996) : 「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.
- [37] 南石晃明・長野間宏・小柳敦史・土田志郎 (1996) : 「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.
- [38] 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』, Vol.34, No.4, pp.67-77.
- [39] 南石晃明 (1998) : 「収益変動を考慮した作付計画」, 『線形計画法による農業経営の設計と分析マニュアル』, 農業研究センター, pp.128-135.
- [40] 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)』, Vol.5, pp.51-58.
- [41] 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』, Vol.36, No.1, pp.23-31.
- [42] 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』 Vol.11, No.2.
- [43] 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.
- [44] 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』, No.90, pp.66-72.
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] 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.
- [48] 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』, Vol.15, No.3.
- [49] 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』, Vol.17, No.2.
- [50] 大石亘・千田雅之 (2010) : 「米麦二毛作地域における飼料イネ生産の経営的評価」, 『関東東海農業経営研究』, 関東東山東海農業経営研究会編, 第100号, pp.121-126.
- [51] 大石亘・松本浩一・梅本雅・東野裕広・村岡賢一 (2010) : 「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.
- [52] 大石亘・松本浩一・梅本雅 (2011) : 「営農計画策定支援システム Z-BFM の構造と機能」, 『総合農業研究叢書』, 第66号.
- [53] 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』, Vol.50, No.2, pp.1-9.
- [54] 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』, Vol.36, No.1, pp.81-84.
- [55] 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』, No.91, pp.129-135.
- [56] 佐々木勝美・佐藤多吉 (1972) : 「畑地帯の土地利用計画」, 『東北農業研究』, Vol.13, pp.132-137.
- [57] 佐々木東一 (1982) : 「てん菜作の価格変化分析」, 『農業経営研究』, Vol.20, No.1, pp.21-31.
- [58] 佐々木東一 (1997) : 「新規作物導入による

- 経営展開の評価（第Ⅱ部・第1章）, 『戦略的農業のための意思決定』, 農林統計協会, pp.73-92.
- [59] 佐々木東一（1998）: 「大規模畑作経営における機械投資行動のモデル分析」, 『線形計画法による農業経営の設計と分析マニュアル』, 農業研究センター, pp.136-151.
- [60] 千田雅之・恒川磯雄（2015）: 「水田飼料作経営成立の可能性と条件: 数理計画法の適用による水田飼料作経営の規範分析と飼料生産コスト」, 『農業経営研究』, Vol.52, No.4, pp.1-16.
- [61] 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麥: 大豆作汎用利用技術導入の評価」, 『農林業問題研究』, Vol.48, No.1, pp.164-169.
- [62] 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』, Vol.30, No.1, pp.46-55.
- [63] 土田志郎（1998）: 「水田経営を対象とした線形計画モデルの構築と利活用」, 『線形計画法による農業経営の設計と分析マニュアル』, 農業研究センター, pp.73-88.
- [64] 土田志郎（2011）: 「新輪作営農システムの経営的评价（北陸における高品質大麥—飼料用イネ輪作システムの確立）」, 『ファーマーミングシステム研究』, No.9, pp.214-218.
- [65] 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』, Vol.39, No.1, pp.1-13.
- [66] 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评价」, 『農業センター経営研究』, No.35, pp.25-40.
- [67] 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评价」, 『農業機械學會誌』, Vol.68, No.1, pp.4-8.
- [68] 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』, No.104, pp.37-52.
- [69] 若林勝史（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评价」, 『北農』, Vol.79, No.2, pp.37-52.
- [70] 八木洋憲・永木正和（2004）: 「生産基盤からみた中山間地域での大規模水田経営の成立可能性: 傾斜地への直接支払いを考慮した農業地域別規範モデル」, 『農村計画学会誌』, Vol.23, pp.169-174.
- [71] 八木洋憲・芦田敏文・國光洋二（2005）: 「都市近郊地域における水利施設維持管理と水田農業の経済性 - 数理計画法を用いた地区分級モデルの構築 -」, 『農業経営研究』, Vol.43, No.2, pp.12-21.
- [72] 頼平（1982）: 『農業経営学講座7—農業経営計画論』, 地球社.

(受付 2015 年 9 月 15 日、受理 2016 年 1 月 16 日)