

平成 30 年 5 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01178

研究課題名(和文) 農業経営における意思決定統合支援システム構築に向けた数理最適化研究

研究課題名(英文) Mathematical Optimization Study for Developing an Integrated Decision-Making Support System in Agricultural Management

研究代表者

伊藤 健 (ITO, Takeshi)

東北大学・経済学研究科・教授

研究者番号：80309492

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：不確実・不確定性をともなう環境における農業経営について、工業分野における生産管理手法を参考に、農作物の生産・物流・販売を総合的に管理・最適化する農業経営意思決定統合支援システムの構築を目標として研究を行った。具体的には、複数期間作付計画モデル、ネットワーク計画モデルの提案・効率的解法の開発を行ったが、これらは不完全情報下での最適化を強いられる現実世界での応用に大きく貢献するものと思われる。

研究成果の概要(英文)：Regarding agricultural management in an environment with uncertainty, we studied in reference to the production management method in the industrial field with a goal of construct an integrated agricultural management decision-making support system, which manages and optimizes the production, distribution and sales of agricultural crops comprehensively. Specifically, we proposed multi-period crop planning models and network programming models, and developed their efficient solution procedures. They must be so useful in the real world, which is forced to optimize under incomplete information.

研究分野：数理最適化

キーワード：経営工学

## 1. 研究開始当初の背景

わが国が農業分野で直面する主な問題として、就農人口の減少と高齢化、輸入品との価格競争、食料自給率の低下などが挙げられるが、いずれも農業経営における効率の悪さが一因と考えられる。

農業政策などの恩恵を被っていた時代から、状況の変化とともに農業収入は減少し、他の産業に対して収入面で見劣りすることとなり、農業は若年層にとって魅力的ではなくなったことが就農人口減少につながっている。また、対外貿易における政策の変化によって、市場での輸入品の存在感が大きくなるなか、経営効率の悪さが価格競争力を低下させている。このようなことが食料自給率にも影響を及ぼすことは容易に想像できる。

つまり、これらの問題を解決する一方策は、農業における利益率の改善にある。企業経営的な考え方では、利益が少なければ生産効率を上げることで改善されるわけであるが、わが国における農業の多くは、家族による小規模営農であったため、経営意識の低さからくる「どんぶり勘定」のような営農も珍しくなく、決して効率的な経営がなされているとは言えなかった。そのため、小規模圃場を集約し、農地の大型化、農作業の工程管理や分業化を推進することによって営農の効率化を図ろうと、農事組合法人などを組織する集団営農が増えつつある。しかし、このような組織の下で農作業を行うパート労働者や兼業農家のような者は、必ずしもすべての農作業工程を熟知しているとは限らない。家族経営の小規模農家では容易に意思疎通を行うことができるため、ある意味「あうんの呼吸」で作業内容の管理・伝達が実現されていた節もあるが、大規模化された組織ではそのような管理体制をいかに実現するかが、経営の成否において重要とされてきた。

## 2. 研究の目的

集団営農など大規模化された組織においては、作業工程を管理する体系化された明確な仕組みが必要となる。企業においては従業員の異動や退職によって組織の構成が変わっても、決して業務が立ち行かなくなるようなことは無く、いくらかの引継ぎ業務を行うことにより、経験の浅い者であっても組織運営に必要な労働力として機能している。集団営農を効率的に運営するにはこのような仕組みが必要であり、極端に言えば、農業についての知識が無い初心者にも管理可能な、オール・イン・ワンの経営意思決定統合支援システムの構築は非常に有効であると考えられる。

本研究、および今後の研究における最終的な目標は、大規模な集団営農を想定した農業経営の効率化に寄与する意思決定支援システムの構築である。このようなシステムの実現には、大きく次のような要素が必要と考えられる。

- (1) 作付計画  
収穫量・収入に大きな影響
- (2) 農作業管理  
労働力不足・多様化で複雑化
- (3) 機械管理  
農地の物理的制約、経営資源有効活用
- (4) 出荷・物流管理  
鮮度劣化・廃棄ロスの削減

これまで、農学あるいはオペレーションズ・リサーチ(OR)の分野において、(1)を題材とした様々な数理最適化研究が行われてきたが、それらは必ずしも現実的な条件や最近の農業技術を反映させたモデルではなく、現場での現実的な利用まで考慮されていないのが実情であった。また、(3)~(4)については、有効と思われる最適化モデルがOR分野で議論されていたが、農業分野に応用されることは少なく、個別の問題が局所的に議論されていた。そのため、研究代表者は(1)~(4)それぞれの充実・深化と、研究成果の連携、およびユーザ・インタフェースにも配慮した農業経営意思決定の統合支援システム構築を着想した。

(1)については、別の科研費課題として既に取り組みを開始し、既に具体的な数理モデルの提案も行っていたが、構想システムの実現には(2)~(4)の解決と、それぞれをリンクさせる仕組みの模索が必要と考えら。上で述べたとおり、(2)~(4)については応用可能と思われるモデルが存在するため、本研究期間内にそれらの農業経営分野への適用可能性を吟味する必要があるが、具体的には農業熟練者の勘や経験を反映するべく、ファジィ数理最適化の概念を利用し、また農業ゆへの天候などによる不確実な要因を確率的に表現することによって、システムへの組込みに対して有効で、より現実的な数理最適化モデルを期間内に提案することを目的とする。

また、集団営農は分業化された生産組織であり、作業に従事する者は生産工程すべてを詳細に把握しているわけではない。これは工業分野における生産・労働形態と同様であるが、工業分野では商品の生産・販売システムが確立され、効率的な経営がなされている。つまり、分野は違えども、類似した経営環境にある集団営農においても、工業分野における生産管理手法が有効に作用し、経営の効率化を実現できるとも考えられる。したがって、工業と農業における生産システムの類似性と相違点を明らかにした上で、農作物の生産・物流・販売までも含めた一連のフード・サプライ・チェーンについても考察を行う。

## 3. 研究の方法

「研究の目的」で述べた(1)~(4)について、個々に説明する。

- (1) 作付計画  
いずれの作物を、どのくらいの面積で栽培するのかを決定することであり、企業での生

産計画や販売計画に相当し、収入に大きな影響を与える。最も利益率の高い作物だけを栽培することが好ましいようにも思われるが、病害虫・天候による不作、連作障害による収量減など、さまざまな不確実・不確定要素を含んでおり、金融分野におけるポートフォリオと同様、そのようなりスクを考慮した上で収入の最大化を図る必要がある。前述のとおり、この課題に関連する成果が別の科研費課題から得られており、ファジィ集合として表現された計画案から好ましいものを選択する基準について、現在は半順序であるファジィ順序に基づき非劣的計画案を求めているが、全順序による明瞭な最適性を定義することによってモデルの提案を行いたい。また、作物の利益係数については定数を仮定しているが、作付け時点で作物の利益係数が既知であることは考え難く、収穫後に明らかになるのが一般的である。したがって、それら利益係数を定数ではなく確率変数として取り扱い、確率計画法やファジィ確率計画法による、より現実的な定式化を検討する。

## (2) 農作業管理

各作物の収穫までに必要な農作業を、必要な工程ごと、あるいは作業単位時間ごとに担当する作業従事者を決定することであるが、確保できる労働力は日々異なり、また直前の増員や欠員など流動的な部分もある。さらに、すべての作業従事者が均一の作業スキルを有しているわけではないため、厳密な最適化は困難なものとなる。基本的には、最適な人員配置を議論する「ナース・スケジューリング」の概念をもとにモデルの検討を行うが、情報量不足からくる不確定性を反映するために、それら不確定要素をファジィ集合で定義し、フレキシブル計画問題として定式化する。ファジィ集合を用いたフレキシブル計画問題といえども、意思決定者が採用すべき最適解自体が「あいまいさ」含んでいるわけではなく、解そのものはクリस्प(非ファジィ)なものとする必要があるため、最終的には、いずれかの尺度をもって等価確定問題に変換し、最適解を求める必要がある。具体的には、レベル集合(カット)を利用して従来のクリस्प・モデルとの類似性を利用する、あるいは意思決定者の希求水準を反映したファジィ目標を設定し、それらが満足される可能性や必然性の最も高い解を選択すべく、可能性測度・必然性測度のようなファジィ測度最大化によって実現しようと考えており、対応する最適解を効率よく求めるアルゴリズムについても開発を進める。

## (3) 機械管理

小規模農家が高価な農業用機械を導入するのは、そのコストを考えると非常に難しいが、耕作規模が大きければ費用対効果の観点からも比較的容易であり、これが農地の集約・大型化を進め、集団営農が注目される一

つの理由でもある。しかし、集団営農によって管理されている圃場は、もともとは個別に農家が管理していたものであるため、帳簿上は一体管理ができ効率化される反面、農地の物理的制約により、機械を圃場間で効率的に移動させる方法や順序の決定が難しくなる。この問題は生産スケジューリング・モデル、具体的にはオープン・ショップ型、あるいは段取り替え問題としての定式化を試みる。また、このような農業用機械の管理に関わる問題は他にも存在し、聞き取り調査などによって代表的なものを洗い出すが、基本的には経営資源の有効活用を図ることが目標となるため、生産管理の概念が当てはまるケースも多いと思われる。それゆえ、特性に応じて適当な生産管理手法を用い、それらの問題の解決方法についても考察する。

## (4) 出荷・物流管理

農作物を商品として取り扱う場合、鮮度劣化を低減し、廃棄ロスを削減することは必要不可欠なものであり、効率的な配送計画が経営にもたらす経済的メリットは非常に大きい。商品の劣化速度という制約により、地方集落の集団営農の規模では農作物の出荷を全国的に行うのは難しいため、地産地消による地域振興を期待する意味でも、本研究では限られた地域内での物流を想定する。収穫される農作物の量は事前に確定的に知ることができないため、配送計画を立案する時点では不確定なものとなるが、そのような出荷予定量をファジィ数と定義し、需要量を考慮した配送計画問題について検討する。具体的には、需要予測に基づき最も売り上げが見込める移動販売ルートを、配置問題の観点から議論する最適配置モデル、また複数の販売所がある場合に、在庫量と需要量に応じて優先的に商品の納入を行うべき販売所を、ネットワーク計画問題の観点から議論する最適補充モデルを提案する。加工販売を行う6次産業としての事業展開を考慮すると、移動販売や販売所の補充に用いている加工前の農作物を、どのタイミングで、どれだけ加工に回すのかを決定することも重要になるが、これについては腐敗し易い商品の在庫問題に通ずるものであるため、関連する過去の研究成果を調査し、本課題への拡張利用を検討する。

## 4. 研究成果

作付計画については、春の作付計画時に秋の作付計画もあわせて行い、年間の利益を最大化するような2期間(春期, 秋期)の作付計画最適化モデルを検討した。本モデルでは、耕作対象地は最小耕作単位によって複数の区画に分割されており、各々の区画は土壌状態の違いによって各栽培作物毎に収穫量が異なるものとしている。さらに、春植作物の利益係数は確定的、秋植作物については、計画時よりも未来のことゆえ天候などの影響を強く受けることもあり、不確実性が高いこ

とを考慮し確率変数としている。また、連作障害などの影響により、各区画毎に春植作物の種類に応じて秋植作物の収穫量が変化することを考慮して、それらをファジィ要素で表現し、双線形構造の問題に対し、動的計画による最適解の導出方法を提案している。実際の営農現場においては、経営資源（農地、労働力、作業機械など）を年度毎に管理し計画を行うことが多いため、本モデルを利用することによって現実的な意思決定支援が可能となるため、その意義は非常に大きいと思われる。

農作業管理については、人員配置問題や生産スケジューリングの概念を基礎として、実問題における情報量不足を原因とする不確実性に対応すべく、それら不確定要素をファジィ集合で定義し、フレキシブル計画問題として定式化することを試みた。物流に関する取り組みとしては、その基礎概念となるネットワーク計画問題、特にスパニング・ツリー問題のファジィ・ランダム・モデルの定式化と、その最適解を見出す効率的アルゴリズムを開発した。集団営農などにおいては、例えば各作物の収穫までに必要な農作業を、必要な工程ごと、あるいは作業単位時間ごとに担当する作業従事者を決定しなければならないが、確保できる労働力は日々異なり、また直前の増員や欠員など流動的な部分もある。さらに、すべての作業従事者が均一の作業スキルを有しているわけではない。営農に必要な物資や農作物の輸送についても、その輸送コストや利用できる車両の積載量など、輸送計画の前提となる情報に不確実・不確実性が往々にして存在する。したがって、確定的な情報を前提とした最適化は必ずしも現実の状況に即したものとはいえないため、このような不確実性を考慮した数理モデルは非常に重要であり、その開発は意義深いものである。

農作業管理については、人員配置問題や生産スケジューリングの概念を基礎として、実問題における情報量不足を原因とする不確実性に対応すべく、それら不確定要素をファジィ集合で定義し、フレキシブル計画問題として定式化することを試みた。物流に関する取り組みとしては、その基礎概念となるネットワーク計画問題、特にスパニング・ツリー問題のファジィ・ランダム・モデルの定式化と、その最適解を見出す効率的アルゴリズムを開発した。集団営農などにおいては、例えば各作物の収穫までに必要な農作業を、必要な工程ごと、あるいは作業単位時間ごとに担当する作業従事者を決定しなければならないが、確保できる労働力は日々異なり、また直前の増員や欠員など流動的な部分もある。さらに、すべての作業従事者が均一の作業スキルを有しているわけではない。営農に必要な物資や農作物の輸送についても、その輸送コストや利用できる車両の積載量など、輸送計画の前提となる情報に不確実・不確実性が

往々にして存在する。したがって、確定的な情報を前提とした最適化は必ずしも現実の状況に即したものとはいえないため、このような不確実性を考慮した数理モデルは非常に重要であり、その開発は意義深いものである。

出荷・物流管理については、収穫された農作物を出荷する際の配送計画において、収穫前のお荷予定量が不確定な時期に計画立案を可能にする配送計画問題について取り組んだ。その過程において、不確実・不確実性をともなう数理最適化研究で多くの研究実績を有するカレル大学（チェコ共和国）、物流・生産管理についてはノースイースタン大学（アメリカ）の研究者とそれぞれ集中的に議論を行い、不確定要素をファジィ数、不確実性要素を確率変数と定義することにより、実問題への適用を想定した配送計画問題の不完全情報モデルの提案を行うことができた。

研究期間全体をとおして、不確実・不確実性をともなう環境における複数期間作付計画モデル、ネットワーク計画モデルの提案を行うことができた。本研究の目的は、工業分野における生産管理手法をベースに、農作物の生産・物流・販売を総合的に管理・最適化する農業経営意思決定統合支援システムの構築であったが、これら作付計画、ネットワーク計画はまさに生産・物流・販売に直結する課題であり、不完全情報下での最適化を強いられた現実世界での応用に大きく貢献すると思われ、目的の達成という点においては非常に大きな成果が得られた。

本研究を含め、これまでの研究では、主に農作業管理、作付計画、出荷管理を中心に検討・考察を行ってきたが、農業経営意思決定統合支援システムの構築を完全なものとするためには、さらに機械管理についての取り組みを十分なものとする必要がある。具体的には、スケジューリングやIoT技術に精通した研究者と研究グループを組織し、大規模な実証実験をともなうシステム開発を目指して、さらなる研究展開が必要であると考えている。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1件）

ITOH, Takeshi, ISHII, Hiroaki, "A Minimum Spanning Tree Model with Fuzziness and Randomness", *Proceedings of the 19th Czech-Japan Seminar on Data Analysis and Decision Making under Uncertainty*, 査読有, (2016) pp.76-81.

〔学会発表〕（計7件）

伊藤 健, 「農業経営における意思決定統合支援システム構築に向けた取り組み」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会「アグリ

サプライチェーンマネジメント」研究部会  
第 11 回研究集会，2017 年 7 月 28 日，岡山寺  
(岡山市)。

伊藤 健，「不確実・不確定要素をとまな  
う作付・輪作計画問題」，日本経営システム  
学会「情報化社会と経営システム研究部会」  
研究会，2017 年 3 月 20 日，神戸学院大学・  
有瀬キャンパス (神戸市)。

伊藤 健，「農業経営におけるリーンマネ  
ジメント」，日本オペレーションズ・リサー  
チ学会「リーンマネジメントシステム」研  
究部会 第 7 回研究集会，2015 年 8 月 6 日，  
サムティフェイム新大阪 (大阪市)。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

伊藤 健 ( ITOH, Takeshi )

東北大学・大学院経済学研究科・教授

研究者番号：80309492