

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24651174

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多期間作付計画に関する研究

研究課題名(英文) Study for Multi-Period Crop Planning to Construct Management 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(研究院)・教授

研究者番号：80309492

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、連作障害等の影響による収穫量の減少に対応し、農業熟練者の勘や経験を経営意思決定に反映できる数理最適化モデルを提案した。多年度にわたる収益の最大化を目的とする不確実・不確定性を考慮した経営意思決定統合支援システム構築を視野に入れ、ファジィ理論の導入によって単期間作付割当計画問題を提案し、ネットワーク計画の概念を利用することによって多期間モデルへの拡張を検討し、最適解の効率的な導出方法について考察を行った。

研究成果の概要(英文)：In this research, we proposed a mathematical optimization model that can express harvest reduction under the influence of replant failures reflect the sixth sense and/or experience of skilled agricultural laborer for management decision making. Designing to construct management decision making support systems maximizing multi-year profit in uncertain environments, we formulated a single-period crop allocation problem by introducing the fuzzy theory, extended to a multi-period model in use of the network programming concept, and considered some efficient procedures for optimal solutions.

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

わが国の農業を取り巻く環境は決して楽観視できるものではなく、特に食料自給率の低さは非常に深刻な問題である。食料自給率を向上させるべく、農業の効率化を図る取り組みも進んでおり、小規模の圃場を集積・大型化する集団営農の促進もその一つである。農事組合法人を組織して地域農業の再興に成功した例も多く、農業の効率化においてその有効性が再評価されている。しかし、これら集団営農も少なからず運営上の問題を抱えており、それらが更なる経営効率化の障害となっている。主な問題としては、労働力不足が原因で複雑化する農作業計画、農地の物理的制約等によって難しくなる機械管理、収益に大きな影響を与える作付計画である。これらの問題に対して様々な研究がなされてきたが、各々が個別に、局所的に議論されている。また、それらは学術的な机上の議論が中心であり、現場での利用まで考慮されていないのが実情であった。

### 2. 研究の目的

集団営農を支援するために、農作業計画、機械管理、作付計画に対するこれまでの研究成果の連携、およびユーザ・インターフェースの操作性にも配慮した経営意思決定統合支援システムの構築をめざし、その重要な構成要素となる作付計画に対する理論的解決策について数理的な議論を行う。

これまで、作付計画については主に単一期間の収穫を対象とした研究がなされてきたが、農作物の栽培では、連作に伴う収穫量の減少（連作障害）を考慮する必要がある。このような要因にまで踏み込んだ取り組み、つまり多期間にわたる作付計画や、輪作パターンを議論した数理的研究は皆無であった。本研究では、ある農作物の栽培が、その後栽培される何れの作物に、どれだけの期間、どれだけの収量減をもたらすのかという連作障害の把握と、そのような連作障害を多期間作付計画問題に反映させる方法を明らかにする。

具体的には、連作障害による収穫の減少量について、その不確実・不確定性をファジィ理論によって数理モデルに反映し、連作障害を考慮した多期間収量最大化を目的とする、システムへの組込みに対して有効な数理最適化モデルの提案を目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究を進めるにあたり力点を置くべきポイントは、連作障害の把握と数理モデルの構築である。連作障害の把握については、農作物の品目に応じて連作障害がどのような状態で表れるのかを調査し、多くのデータを収集する必要がある。これらは例え同じ品目であっても気候や地理的条件の影響を受けるため、いくつかの地域毎にデータ収集を行う必要がある。また、数理モデル構築にあた

り、連作障害の影響を数理的に表現するファジィ数を定義し、収集されたデータを基にそのメンバシップ関数の同定を行い、ネットワーク計画問題（グラフ理論）を利用した数理モデルの定式化を試み、最適解を導出するアルゴリズム開発をすすめる。

#### (1) 連作障害の把握

日本には様々な環境の農地があるが、本研究の成果が多くの農地に対して適用できるよう、気温や土質など色々な条件によって農地の分類を行う。この分類が詳細なものであることが理想的ではあるが、研究期間の制約を考え必要最低限の分類とし、研究成果の有効性が確認された後に拡張を行うこととする。対象作物についても同様で、データ収集における時間的制約から、代表的な品目に絞って調査を行う。

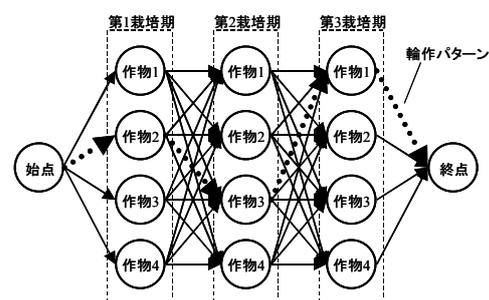
選定したそれぞれの地域・作物毎に、連作による収穫量の減少についてデータを収集する。各地の農業試験場などに存在するものに関してはその協力を仰ぎ収集が可能であるが、大部分は新たに収集する必要があると思われる。しかし、複数年間にわたる連作障害の詳細データを新たに収集するのは、その組合せの多さも含め、ほとんど不可能に近い。そこで、各地域の熟練営農者の経験的知見をファジィ・データとして利用するため、各地の農事組合法人などで聞き取り調査やフィールド調査を実施する。

#### (2) 連作障害の表現方法

データ収集によって得られた情報を基に、連作障害の影響を数理的に表現する手法について検討する。問題を定式化する大きな枠組み（方針）にもよるが、本研究ではファジィ数を用いたフレキシブルな手法を想定している。そのため、ファジィ数を特徴づけるメンバシップ関数の同定をいかに行うかが重要であるが、その後の数理モデルへの組み込み易さを考え、三角型ファジィ数の採用可能性について考察する。

#### (3) 数理モデルの構築

ネットワーク計画の概念を利用し、連作障害を考慮した多期間にわたる作付計画問題の定式化を行う。ネットワークを層構造にし、各層には栽培期、そのノード（節点）には栽培作物を対応させ、一連のノードとアーク（矢印）によって構成される経路の一つの栽培（輪作）パターンとする。



アークには前後の栽培作物に応じた連作障害による情報を付加し、経路が含むすべてのアークの付加情報を基に、対応する輪作パターンを評価する。このような枠組みで、最短経路問題、あるいは最長経路問題などの考え方を拡張利用することにより定式化の糸口を探る。また、最適解、あるいは近似解を導出する計算アルゴリズムを考案し、計算効率に優れたプログラムを開発する。

#### 4. 研究成果

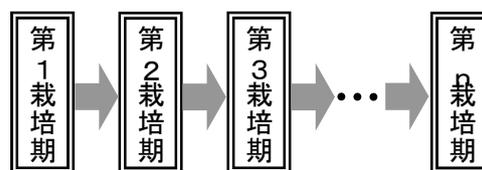
連作障害の状況把握について、当初予定していたような連作障害による収穫の減少量の情報を正確に収集することは、そのような目的に特化した実験を行うなど、大規模な調査が必要になるため、当初想定していたような各地域・作物毎の詳細なデータを入手することはできなかったが、農業従事者や研究者への聞き取りやアドバイスから、本研究で対象とする問題に含まれる係数や各種条件を経験的に同定する方向性に目途がついた。本研究では熟練者の勘や経験を活用できるファジィ数理最適化モデルの構築を検討しているため、このような同定が可能になることは、モデルの提案において非常に大きな意味をもつ。

多年度にわたる収穫量最大化を目的とした輪作計画問題について、栽培周期数に応じた層数をもつ階層型ネットワークによって対象とする輪作計画問題を記述して、始点から終点への各パス（経路）を一連の輪作パターンに対応させるモデルを提案した。本モデルは、連作障害をもたらす作物の種類（ナス科、マメ科など）毎に収穫量への影響度を定義し、時間の経過に応じてパラメータを変化させることにより、連作障害による効果（影響）の増減を反映することが可能である。これら収穫量への影響度をもとに、各輪作パターンを採用した場合に得られるであろう各期の利益を計算し、対応する層間を接続するアークに「距離」として割り当てる。これによって、始点から終点への最長経路（クリティカルパス）を計算することにより、多年度にわたる栽培の結果、最も利益が見込める輪作パターンを求めることができる。最長経路を計算する具体的な方法については考察していないが、作物の種類や栽培年数が極端に多くなれば、輪作パターンが爆発的に増加することになるため、この点については分枝限定法や動的計画の概念を用いるなど、最適輪作パターンを効率的に発見する手法を検討する必要がある。

農業において栽培対象となる作物品種は非常に多く、それらの複数年にわたる作付けの組合せは、ほぼ無限に存在する。それゆえ、現実的には考慮すべき作付け作物の組合せを有限個に絞る必要がある。しかし、それでもそれらの組合せについて、連作障害による収穫量の減少に関する詳細な情報をすべて収集するのは、経済的にも、時間的にも莫大な

コストが必要になる。また、栽培環境は農地毎に異なるため、必ずしもすべての農地の収穫状況がそれらの情報に沿ったものになるとは限らない。本研究では、そのような情報量不足、あるいは栽培環境の違いによって生じる不確定性を、ファジィ理論を用いることによって数理的に表現している。これにより、農地の環境や経験的に蓄積された情報を柔軟に反映させることが可能な、より現実的で画期的な数理最適化モデルを提案することができた。

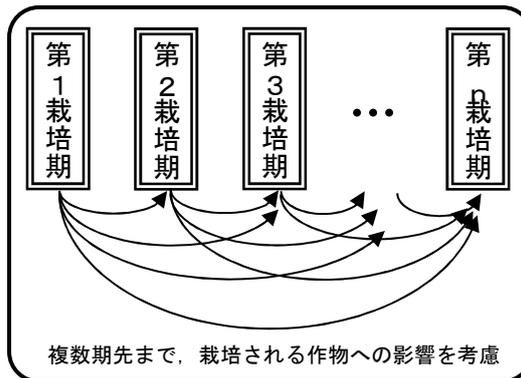
連作障害を考慮した作付け計画に関する研究は、直前の期に栽培された作物による影響のみを考慮した取り組みが僅かに存在するのみである。しかし、一般的に連作障害の原因となる土壌成分は多期間にわたって農地に影響を与えるため、このような数理モデルは構造がシンプルで扱いやすいものである反面、現実の状況を正しく定式化しているとは言えない。したがって、本研究のような複数栽培期間にわたる連作障害を取り扱うような数理的研究は、定式化のアイデアにおける斬新さが注目されるべきものである。



直後の期に栽培される作物への影響のみを考慮

問題は複雑化するが現実的

本研究の設定イメージ



さらに、上で述べたような単一作物の栽培を前提としたモデルを拡張すべく、複数作物の農地への作付け割り当てを議論するモデルの提案を行った。本モデルは、実際に栽培を行う農地の土壌条件が一律でないことに着目し、たとえ同じ作物であっても、作付けを行う物理的な位置によって作物の収穫量が異なるという仮定の下、単期間における最適な作付け割り当てを探るものである。

このような研究成果から、将来的に集団営

農における経営意思決定統合支援システムの実用化が図られれば、農業経営や農業技術に関する知識が必ずしも豊富でない者（組織）でも、中規模以上の営農を実践することができ、産業的にも、また農業生産性の向上にも貢献し、わが国の農業政策や農業事業促進を考える上で非常に意義深いものとなる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計3件）

① ITOH, Takeshi, “Innovative Models for Crop Planning Problem to Improve Production Efficiency in Agricultural Management under Uncertainty”, *Innovation and Supply Chain Management*, 査読有, Vol.8, No.4 (2014) pp.169-173.

② ITOH, Takeshi, “Crop Allocation Models Supporting Agricultural Management”, *Proceedings of the International Conference on Business and Information 2014*, 査読無, 電子版につきページ番号無.

③ ITOH, Takeshi, “A Decision Model for Agricultural Management Based on the Network Programming Technique”, *Proceedings of the 9th Korea-Japan Workshop on Sustainable Management System in Service Industry*, 査読有, (2013) pp.3-7.

〔学会発表〕（計4件）

① ITOH, Takeshi, “Crop Allocation Models Supporting Agricultural Management”, International Conference on Business and Information 2014, 2014年9月2日～2014年9月4日, Honolulu (USA).

② 伊藤 健, 「作付け位置を考慮した作付計画モデルについて」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会「食べものOR」研究部会第6回研究集会, 2014年6月21日, 関西学院大学・大阪梅田キャンパス (大阪市).

③ ITOH, Takeshi, “A Decision Model for Agricultural Management Based on the Network Programming Technique”, The 9th Korea-Japan Workshop on Sustainable Management System in Service Industry, 2013年8月23日, Jeju (Korea).

④ 伊藤 健, 「輪作計画の数理的アプローチについて」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会「食料・農業・環境における意思決定」研究部会第9回研究集会, 2013年1月25日, 琉球大学農学部 (沖縄県・西原町).

## 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