

|             |                                                                                              |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名         | チャン張 琴                                                                                       |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (農 学)                                                                                    |
| 学 位 記 番 号   | 農 博 第 1608 号                                                                                 |
| 学位授与の日付     | 平 成 19 年 3 月 23 日                                                                            |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当                                                                      |
| 研 究 科 ・ 専 攻 | 農 学 研 究 科 地 域 環 境 科 学 専 攻                                                                    |
| 学 位 論 文 題 目 | Optimization Model for Allocating Irrigation Water to Paddy Fields<br>(水田への灌漑用水配分のための最適化モデル) |
| 論文調査委員      | (主 査)<br>教 授 河 地 利 彦 教 授 青 山 咸 康 教 授 三 野 徹                                                   |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、河川取水により灌漑される水田群と、それらと連続する用・排水路網から構成される灌漑地区において、灌漑期間内に各水田群へ用水を適切に配分するための最適化モデルを開発したものである。地球温暖化による水資源の過不足の拡大、食糧増産、人口増大等による水使用量の絶対的な増大など、水資源の渇渴問題が世界的に深刻化する中、全水使用量の過半を占める農業用水を効率的に利用することが問題解決に向けた重要な課題の一つとなっている。このようなことを背景として、本論文では、河川からの灌漑用水の取水量の抑制と稲作収量の最大化という相反する2つの目的を設定して、目的間で調和のとれた灌漑用水の配分量を得るための数理計画的な方法論を展開し、意志決定を支援する最適化モデルを提案している。一灌漑期間のような長期的な水管理問題を想定した上で、まず、通常の線形計画法に依拠した決定論的モデルを構築している。次いで、このモデルを、確率論的な接近により、灌漑期間中のモデル・パラメータの不確実変動を考慮したモデルへと拡張している。さらに、灌漑用水管理における競合する各目的がもつあいまいな部分を定量的に取り扱うため、ファジィ線形計画法を援用したモデルを考案している。

第1章は緒論であり、灌漑用水使用の合理化の必要性を述べた上で、最適化手法を用いた各水田群に対する灌漑水量管理の重要性を指摘し、本論文の目的と意義を示している。

第2章では、灌漑用水の供給問題を扱ったモデル解析に関する既往の研究を概観、整理している。とりわけ静的な最適化手法を用いた水配分に関する研究については、決定論的モデル、確率論的モデル、そしてファジィモデルに分類・整理し、次章以降で提案する最適化モデルの位置づけを明確にしている。

第3章では、複数の水田群が開水路ネットワークにより連結されている河川掛の灌漑地区を想定し、河川、水路、水田群それぞれにおける水収支関係と河川維持用水量を主要制約条件とした、河川総取水量の最小化と総稲作収量の最大化を目的関数とする決定論的線形計画モデルを提案している。既往の研究に基づき、収量と灌漑水量との間には比例関係があると仮定している。2つの目的は重みパラメータによって形式上単一目的化されるが、仮想灌漑システムに対する適用例において重みを変化させることで非劣解（パレート最適解）を複数求め、総取水量と総稲作収量との間に生ずるトレード・オフ関係を具体的に示している。

第4章では、第3章で示したモデルを、灌漑期間中のモデル・パラメータ（河川流量、降水量、蒸発散量）の不確実変動性、並びに稲の生育段階に応じた必要最小灌漑水量の変化を考慮することによって確率論的最適化モデルに拡張している。そこでは灌漑期間を複数のシーズン（灌漑期）に分け、上記の不確実パラメータと必要最小灌漑水量の組をシーズンごとに与えている。各シーズンの期間に比例した確率を不確実事象の生起確率とみなすことにより、河川総取水量の期待値の最小化と総稲作収量の期待値の最大化を制約条件の下で追求している。合成目的関数に含まれる重みの値を変化させて多様な非劣解を得ることにより、河川取水量に基づく水生産性を定量化し、その際の河川取水量、灌漑用水配分量のあり方を論じている。

第5章では、まず、各水田群単位で水不足が生ずるリスクを最小化するという目的を、前章までに考慮していた2目的に加えている。その上でこれら3つの目的が競合することにより生ずる各目的間での追求度合いのあいまいさを、各目的に対応したファジィ集合と線形メンバシップ関数を定義して定量化し、ファジィ線形計画法による意志決定支援モデルを構築している。その際、水文・水質環境の不確実性をも考慮の上でファジィ決定として最小オペレータを採用し、妥協解（満足解）を導く方法を提示している。そして妥協解を例示して、リスクに関する目的を新たに導入したことによる効果を明らかにしている。

第6章では、第5章で提示したファジィ最適化モデルに対して、一シーズンに複数の不確実パラメータの組が想定される場合に対応できるよう改良を加えている。これにより、各シーズンにおけるパラメータの不確実な変動性をより精緻にモデルに組み入れることが可能となり、導かれる灌漑水量配分案の信頼性を向上させている。そして、モデルを仮想灌漑システムに適用して、一シーズンに想定される不確実パラメータの組やその生起確率を変化させた場合の解の変化特性を調べている。

終章である第7章では、本研究によって得られた成果を要約・整理するとともに、各モデルの問題点と今後の課題について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

灌漑用水を適切に圃場へ配分することで総作物収量の増大や生産コストの抑制を図ることを目的とした研究はこれまでも散見することができる。しかしながら、水田灌漑を主体とする灌漑地区における最適化理論を用いた水配分モデルに関する研究は十分ではなく、いわんや節水という観点から農業用水の使用形態を見直すことを主眼として、総稲作収量の最大化と灌漑用水使用量の最小化を同時に取り扱った研究は皆無である。世界的な水逼迫の中にあつて、特に水使用量の多い水田稲作において、灌漑用水の効率的使用のあり方とその方法論を検討することは喫緊の課題である。本論文は、灌漑用水の河川取水量最小化と水稻の総収量最大化を目的として、水田群を単位とした水配分案が導出でき、これらの目的間のトレード・オフ関係や水生産性の定量的分析も可能となる意志決定支援モデルを開発したものであり、評価できる主要な点は以下のとおりである。

- (1) 複数の水田群が開水路ネットワークにより連結された河川掛の灌漑地区を想定し、河川、水路、水田群それぞれにおける水収支関係と河川維持用水量を主要な制約条件として、河川総取水量の最小化と総稲作収量の最大化が達成できる決定論的線形計画モデルを提案した。これによれば、水田群への最適な水配分量の決定が可能となり、同時に、河川取水量を目的関数の形で制御するため、河川取水量をベースとした水生産性の定量的議論が容易となる。
- (2) 最適化モデルから得られる解の信頼性を高めるために、水稻の生育段階によって定まる複数の灌漑期（シーズン）を考え、灌漑期ごとに水文・水理学的な不確実パラメータの組値とその生起確率を与えるシーズン・ベースの確率論的最適化モデルを提示した。これによれば、水稻の生育段階に応じた必要水量を確保することを前提としたシーズンごとの灌漑用水配分案が得られるとともに、灌漑期間中の水を供給する側の河川の実態や周辺環境の不確実な変動がより精緻にモデルに反映されてモデルのロバスト性が高まり、最適化モデルにより導かれる河川取水量や灌漑用水配分の代替案の信頼性を向上させることができる。
- (3) 互いに競合する管理目的間での妥協解（満足解）を求めるため、目的追求度合いのあいまいさを考慮し、このあいまいさによる不確実性と水文・水理環境の不確実性の双方を考慮したファジィ線形計画モデルを提案した。また、各水田群単位で水不足が生ずるリスクを最小化するという目的を他の2つの目的と合わせて考慮し、各目的に対応したファジィ集合と線形メンバシップ関数を定義して定量化し、ファジィ決定に最小オペレータを採用した。

以上のように、本論文は、水田灌漑における節水と収量確保の両面から用水の効率的利用を実現するための意志決定の方法について論じ、水文・水理環境の不確実性、並びに競合する複数の目的のあいまいさに起因する不確実性に対してロバストで、より現実に即した河川取水量と灌漑用水配分量の代替案作成が可能となる最適水配分モデルを構築したものであり、灌漑排水学、水資源工学、水環境科学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成19年2月14日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。