

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	Goden Mabaya
論文題目	Decision Support Systems for Water Environment Management in Rural Areas under Hydrological and Socio-Economic Uncertainties （水文学的および社会経済学的不確実性下にある農村地域の水環境管理に対する意思決定支援システム）		
（論文内容の要旨） 本論文は、農村地域における水資源を最適に利用するための意思決定支援システムの提案を目的としている。水資源の最適利用には、地域の水環境を保全するための利用も含まれ、農業生産を維持しながら水環境への汚濁負荷を削減する、さらには、水環境の改善と農業生産の増大を同時に達成する、という方向性も考えられる。これらは、水文学的な不確実性や社会経済学的不確実性のもとに実行される方策となるため、確率論に基礎をおいたモデルの構築が賢明であると考えられる。以上のような考えに基づき、滋賀県甲賀市に位置する茶園と水田の混在地域を対象とした、地域レベルでの水管理に対する意思決定支援システムについて検討を行った。対象地域は丘陵地帯であり、高位部が茶園として、低位部が水田として利用されている。一般に、高品質の茶を生産するためには多量の施肥が必要とされるが、作物に利用されない肥料は周辺流域に流出する。特に窒素は水に溶けて輸送されるため、周囲の水環境を悪化させるという問題が生じる。その問題に対して、水田や耕作放棄水田を活用した水質浄化対策と、灌漑用ダムや小規模溜池の水質を加味した最適な運用方法について論じた。 本論文は、全6章から構成される。 第1章では、研究の背景を述べるとともに、本研究の具体的な目的を設定した。 第2章では、意思決定支援システム研究の概要とその水環境管理問題への適用、さらに最適化モデルの概要とその水環境管理問題への適用に関する文献レビューを行った。 第3章では、水田の窒素浄化機能、いわゆる脱窒作用に着目し、茶園から流出する窒素を含んだ流出水を水田あるいは耕作放棄水田に引き込むことによる、下流地域への窒素負荷削減策について論じた。浄化能力の不確実性や、限られた測定から得られた観測値の不確実性を合理的に取り扱うため、最悪状態における便益最大化の考え方に基づくロバスト最適化手法を導入しているところに特徴がある。対象地域の土地利用（茶園、水田、耕作放棄水田、森林、溜池、水路、河川）毎に、時期を変えつつ、簡易測定器を用いた水質項目の観測を実施した。それに基づき、水田、耕作放棄水田、水路における窒素浄化能力を推定し、ロバスト最適化モデルにより、茶園からの流出水をどの程度、水田あるいは耕作放棄水田に導くべきかという意思決定問題に対して、水稻の作付期と非作付期に分けて検討した。本モデルによると、代表的な安全			

率の設定の下で，作付期では茶園からの流出水の83%を水田に，15%を耕作放棄水田に，残りを排水路に入れる方策が，非作付期では39%を水田に，46%を耕作放棄水田に，残りを排水路に入れる方策が，それぞれ推奨されることとなった。

第4章では，水量のみでなく，窒素濃度とそれに関連する水稻や生物への影響を考慮した灌漑用ダム（110,000m³）の最適運用ルールについて検討した．第3章と異なり，ダムにおける貯水量と窒素濃度の時系列変化が問題となるため，離散マルコフ決定過程に基づいた意思決定支援システムを構築した点に特徴がある．10分間隔で自動観測された気象データ並びに簡易測定器による水質観測値から，ダムの水収支と窒素収支を推定した．これに加えて，灌漑コスト，ダム生態系の価値，下流域への負荷に伴う損失等を金額に換算し，ダム貯水量と窒素濃度の組み合わせに関する遷移確率を考慮することで，灌漑期間全体の損失評価関数を最小化するダムの運用ルールを提案した．本来は連続的な量である貯水量や窒素濃度を，確率過程論にもとづいた手法により離散化する点も特徴的である．

第5章は，観測水位データのあるより小規模な溜池（3,000m³）に対して，第4章と同様な手法を適用したものであるが，前章のダムは集水域に茶園を有し窒素汚染が進んでいるのに対し，本章で対象とする溜池の集水域には茶園がないため，水質が良好である．また，養魚池としての多目的利用も視野に入れた．この溜池は，窒素汚染が進んでいるダムから水が補給されるシステムであるため，溜池の貯水量と窒素濃度に基づいて，溜池からの放流やダムからの補給のタイミングについて検討した．

最終章の第6章では，本研究で得られた主要な成果を要約するとともに，今後の展望について言及した．

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

農村地域では過剰な施肥による水環境の劣化が言われて久しい．特に茶園は施肥量が多い傾向にあることから，その周辺地域では溶存態窒素濃度が高くなりやすい．一方，水田は脱窒機能が期待されるため，茶園と水田をうまく組み合わせれば，農村地域から排出される窒素負荷量を削減する可能性がある．また，農村地域に存在する灌漑用ダムや溜池などの人工貯水池は，集水域の土地利用の影響下にあり，水環境が劣化しているところも多い．従来，人工貯水池は貯水量や灌漑必要量という水量のみを主眼に運用されてきたが，例えば窒素濃度の高い水を放流することによる下流に与える影響や貯水池内の生態系への影響などを加味した最適な運用ルールを構築することが求められる．以上のような背景から，本論文の前半では，ロバスト最適化モデルの適用により，茶園からの流出水を水田や耕作放棄水田に導く最適割合について検討した．後半では，マルコフ決定過程を基礎に，貯水量と窒素濃度に基づいた最適な貯水池運用ルールを提案した．評価される主な点は以下の通りである．

- 1．高位部が茶園と森林，低位部が水田として利用されている丘陵地帯の対象地域から流出する窒素負荷の削減方法について，ロバスト最適化手法を用いて土地利用を活用した方策を提案した．具体的には，まず，土地利用種別毎に水質観測結果をまとめ，水田，耕作放棄水田，水路における窒素浄化能力を推定した．そして，観測値の不確実性を考慮したロバスト最適化モデルにより，茶園からの流出水の水田と耕作放棄水田と水路への配分割合を，水稻の作付期と非作付期に分けて提案した．
- 2．水量のみに依存した従来の人工貯水池の運用ルールに対して，貯水量と窒素濃度の組み合わせを基準とした最適な水管理運用ルールを提案した．具体的には，まず，気象および水質観測データと水収支式および窒素収支式を利用して，貯水量と窒素濃度の組み合わせの遷移確率を求めた．そして，マルコフ決定過程の手法により，灌漑期間全体で想定される損失を最小化する貯水池運用ルールを提案した．本手法は農村地域におけるよりよい生物生産環境と水環境の創出に寄与することができる．

以上のように，本論文は，不確実性の伴う農村地域の水環境管理方策に対して，ロバスト最適化モデルとマルコフ決定過程に基づく意思決定支援システムの2つの方法を提示したもので，水資源利用工学，農業水利学の発展並びに環境政策の実際面に寄与するところが多い．

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28年7月27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．

注）論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降（学位授与日から3ヶ月以内）