

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 農 学 )	氏名	Erfaneh Sharifi
論文題目	Stochastic Modeling of Hydrological Events for Better Water Management (よりよい水管理に資する水文事象の確率論的モデル化)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>昨今、多くの国で人口増加あるいは気候変動に起因した水不足が深刻な課題となっている。食料生産は言うに及ばず、自然生態系の保全、そして人間活動のすべてにわたって、水管理問題は足下に常に横たわる根本的な問題である。水管理問題の解決のためには、水文過程の詳細な研究が不可欠である。本研究の目的は、水文事象を平均回帰型確率過程として表現し、それに基づく水管理の最適制御戦略を提案し、最終的によりよい水管理を現実世界に実現していくことである。本論文では、西アフリカのサバンナ気候下における天水農業並びに中東の沙漠気候下における完全灌漑農業の水管理に関して最適制御戦略を提示した。</p> <p>本論文は全6章から構成される。</p> <p>第1章では、研究の背景を述べるとともに、関連する研究の文献レビューを行い、研究課題を整理した。</p> <p>第2章では、湿潤期間と乾燥期間の交代をランジュバン方程式に支配されるゼロ回帰オルンシュタイン・ウーレンベック過程によってモデル化した。そして、ガーナ国のギニア・サバンナ気候区で過去に観測された土壌水分量や雨量のデータを用いて、そのモデル化の妥当性を検証した。モデル化において、湿潤状態に回帰する雨季においては土壌の体積含水率20%を湿潤状態と乾燥状態の閾値とした。また、乾燥状態に回帰する乾季については、雨季の開始を確率過程の第一脱出時刻として取り扱った。</p> <p>第3章では、ガーナ国の沿岸サバンナ気候区に対象地区を設定し、第2章のモデルに加えて、灌漑コストや水ストレスによる作物の価値損失を考慮した確率制御問題として定式化した。対象作物として、対象地区で実際に栽培試験を行ったメイズとオクラを採用した。それぞれについて天水農業を想定して、灌漑水の供給をゼロとした場合におけるハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式を数値的に解き、天水農業が最適戦略となるような条件を明らかにした。この場合のハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式は、移流拡散型の二階線型偏微分方程式であるので、ペトロフ・ガレルキン型有限要素法に基づく既存の数値手法により、良好な近似解を得ることができた。</p> <p>第4章では、年平均降水量75mmの沙漠気候下にあるヨルダン地溝帯における水資源開発および灌漑スキーム構築のプロジェクトにおいて、建設された取水施設に関する水理学的研究の成果をまとめた。取水施設は涸れ川における突発的洪水の全量を取水するための施設で、模型実験と数値実験を基に設計された。模型実験では、水平縮尺を1/8、鉛直縮尺を1/4.757に設定した歪み模型を用いた。模型実験の結果に基づ</p>			

き、水平二次元浅水流方程式を基礎式とする数値モデルの計算結果の妥当性を検討した。さらに数値モデルを用いて、仮想的な洪水が取水施設に流入した場合の状況を再現し、取水堰長16m、水路長60m、貯水池1,000m<sup>3</sup>の施設形状を決定した。同時に、超音波水位計による観測値から洪水の流量を得るための推定式を決定した。

第5章では、第4章の取水施設によって新たに開発された水資源を貯留する貯水池の最適運用ルールを提示した。つまり、貯水池に流入する洪水の流量、蒸発や浸透による損失量、灌漑需要量に対してランジュバン方程式を用いて統一的に表現し、貯水池の水収支式と連立することによって灌漑スキーム全体のモデルを構築した。灌漑期間全体にわたり、灌漑需要量にできるだけ見合った水量を貯水池から圃場へ供給するための最適戦略を、退化楕円型となるハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式の数値解より、貯水池ルールカーブの形で導いた。また、単純化した問題についてハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式を数理的に調べ、最適戦略が一意に存在する条件を示唆した。なお、数値計算においては一次精度の風上差分法が用いられており、より精度の高い計算手法の開発が望まれる。

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。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

持続的な農業を行うためには、その地域で得られる雨水を最大限に利用することが肝要である。降水事象はきわめて不規則であるため、確率的な取り扱いが必要となる。降水事象としては正反対の洪水と渇水は、両極な水文事象として認識すると、平均回帰型確率過程の平均値から離れた事象として統一的に取り扱うことができる。平均回帰型確率過程の典型的な例としては、ランジュバン方程式に支配されるゼロ回帰オルンシュタイン・ウーレンベック過程が挙げられる。さらに、水管理における意思決定問題を確率制御問題として定式化し、最大値原理を記述するハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式を調べることにより、最適戦略の提案が可能となる。本論文は、このような考え方を基礎に、西アフリカのサバンナ気候下における天水農業と中東の沙漠気候下における完全灌漑農業への適用に焦点を当てたものである。評価される主な点は以下の通りである。

1. 雨季と乾季のあるサバンナ気候下では、天水農業に依存した地域が広く分布しており、特に雨季における連続干天が農作物を壊滅させるリスクが高く、その評価と管理が重要である。雨季に見られる湿潤期間と乾燥期間の交代をランジュバン方程式によってモデル化し、5年間の観測データに基づき、その妥当性を検証した。
2. 上記のモデルを、メイズとオクラを対象作物として、灌漑コストや水ストレスによる作物の価値損失等を考慮した確率制御問題に組み込み、その結果導かれるハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式を数値的に解き、天水農業が最適となる条件を示した。
3. 沙漠気候下においては、わずかな降水量によって生じる洪水の全量を取水する施設が有利であり、水理模型実験と数値流体力学による数値実験の両手法を用いて、取水堰、導水路、貯水池からなる水利施設の形状を決定した。
4. 上記の洪水収集施設による灌漑スキームを運用する貯水池ルールカーブを提案した。具体的には、期待される取水量、蒸発や浸透による損失量、灌漑需要水量を統一的に表現するランジュバン方程式並びに貯水池の水収支式からなるモデルを確率制御問題として定式化した。その結果導かれるハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式を基に、最適戦略を提案した。

以上のように、本論文は、確率制御問題を中心に、多様な解析的方法を用いて、天水農業と完全灌漑農業の水管理に関する最適戦略を提示しており、水資源利用工学、農業水文学、灌漑排水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。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

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）