

砂漠の洪水を灌漑用水に変える

—ヨルダンの乾燥地で数理的最適戦略によるプロトタイプを運用—

概要

宇波耕一 京都大学大学院農学研究科 准教授と Osama Mohawesh ムタ大学（ヨルダン） 農学部 教授による国際研究チームは、ヨルダンの乾燥地域において洪水を灌漑用水に変えるシステムのプロトタイプを構築し、厳密な数学的根拠に基づく最適戦略によって貯水池の運用を開始しました。水資源利用工学と解析学の学際的研究の成果として、厳しい環境下での水資源開発において、本プロトタイプが実現可能な選択肢であることが確認されました。とくに、ある種の偏微分方程式に対する「粘性解」の概念を用いることにより、ポンプの運転/停止切り替えのような滑らかでない最適運用戦略を取り扱うことが可能となりました。

本研究成果は、2018年3月5日に国際学術誌「Stochastic Environmental Research and Risk Assessment」にオンライン掲載されました。



الموقع التجريبي في غور المزارع للمشاريع البحثية
النظام الجديد لتجميع الندى في البيئة القاسية لاغراض الزراعة.
المحافظة على الموارد المائية في ري الاراضي الزراعية بمحاذاة البحر الميت.
التشغيل الامثل لمنظومات الري بالاعتماد على حلول اللزوجة للمعادلات التفاضلية الجزئية.
د. كويتشي أونامي, جامعة كيوتو, اليابان.
د. أسامة مهاوش, جامعة مؤتة, الأردن.

Experimental site at Ghor al Mazrah for research projects
A novel dew collection system for agriculture in harsh environment.
Water resources portfolio for farmlands along the Dead Sea.
Optimal operation of irrigation schemes based on viscosity solutions of partial differential equations.
Dr. Koichi Unami, Kyoto University, Japan.
Dr. Osama Mohawesh, Mutah University, Jordan.



ヨルダン現地に設置した広報バナー：プロトタイプ全景（左写真）、数値計算で近似的に得られた粘性解の一部（右中図）、ビニールハウスを改造した除塩プラント（右下写真）

1. 背景

中東や北アフリカをはじめ世界全体に広く分布する乾燥地域においては、外来河川や化石地下水への過度の依存や塩類集積といった問題が顕在化し、過酷な環境の中で限定的な水資源を有効利用する灌漑農業を確立することが喫緊の課題となっています。同時に、このような乾燥地における突発的洪水による被害が拡大していると言われてしています。そのため、これらに対処するための灌漑システムが求められていました。

2. 研究手法・成果

我々の国際研究チームは、砂漠の洪水を収集して貯水池に蓄え、灌漑用水に変換するシステムを提案し、そのプロトタイプをヨルダンの乾燥地域に実際に構築しました。このプロトタイプは、水理学や水文学、とくに数値流体力学の知見にもとづいて設計、施工を行いました。

プロトタイプを開発するにあたっては、貯水池の最適管理戦略を考えるため、動的計画法にもとづいて最適制御問題を定式化しました。最適制御問題を解くには、その問題に対する「HJB 方程式」と呼ばれる偏微分方程式を調べるのが重要ですが、プロトタイプの置かれた環境条件下では、HJB 方程式の「粘性解」がひとつだけ存在することを証明することができました。さらに、大型計算機を用いてその HJB 方程式を解くと、貯水池を最適管理するためのルールカーブ（取水制限を行う管理目標水位）を求めることができました。

日本の溜池をはじめとする小規模貯水池においては、経験知にもとづいてルールカーブが設定されている例が多く見られます。本研究では、乾燥気候下にあるプロトタイプ貯水池についても、ルールカーブを用いた管理が最適戦略になっていることを、厳密な数学的方法論にもとづいて示しています。これにより、水資源管理における経験知を支える科学的原理を明らかにすることができると考えられます。

動的計画法にもとづいて貯水池の最適管理戦略を導く方法論は古くから知られていましたが、砂漠の洪水を灌漑用水に変えるための貯水池に実際に適用して検証した例は本研究が世界で初めてとなります。

3. 波及効果、今後の予定

今回掲載された論文では、洪水に含まれる塩分、貯水池の堆砂の問題は除外して考えています。除塩については、ビニールハウスを改造した太陽エネルギー駆動型除塩プラントが稼働しており、実際の作物栽培と併せて研究を継続しています。堆砂については、従来の水文学や水理学においても大変重要な課題ですので、新奇性のある研究を構想中です。

また、除塩した灌漑用水は別途淡水タンクに貯留し、この淡水タンクの最適管理戦略についても、本研究と同様に HJB 方程式の粘性解を調べていますが、ルールカーブによる管理は最適とはならないことが予想されています。

我々は今後、厳密な数学的基礎が担保された本研究のコンセプトを、世界全体に広く分布する乾燥地域へと展開し、環境・社会リスクの影響を受けにくい実行可能な灌漑プロジェクトを提示していく予定です。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、JSPS 外国人研究者招へい事業（長期）No. L14561 「苛酷な環境における農業のための新しい露収集システム」、科研費 No. 26257415 基盤研究(A) 「死海沿岸地域の農地における水資源ポートフォリ

才」および科研費 No. 16KT0018 基盤研究(B)「偏微分方程式の粘性解にもとづく灌漑スキームの最適運用」の支援を受けています。

<用語解説>

最適制御：時々刻々と状態が変化していくシステムを、最適に運用するためのルールを導くために用いられる制御工学的な方法論です。コストや損害を表す評価指標を定めることにより問題を設定し、それを最小にするための条件を導きます。

HJB (Hamilton-Jacobi-Bellman) 方程式：最適制御問題における評価指標の最小値を支配する、非線型偏微分方程式です。

粘性解：HJB 方程式の解としては、連続性や微分可能性を持たない関数を考える必要があります。粘性解は、HJB 方程式などの非線型偏微分方程式を扱う場合に適切な、広い意味での解の概念です。

<論文タイトルと著者>

タイトル：A unique value function for an optimal control problem of irrigation water intake from a reservoir harvesting flash floods

著者：Koichi Unami, Osama Mohawesh

掲載誌：Stochastic Environmental Research and Risk Assessment

DOI：10.1007/s00477-018-1527-z