

# 博士學位論文

内容の要旨

及び

審査結果の要旨

令和5年3月

近畿大学大学院

農学研究科

学位論文審査結果の報告書

氏 名 白木 秀太郎

---

生 年 月 日 昭和48年3月12日

本 籍 (国籍) 茨城県

---

学位の種類 博 士 ( 農 学 )

学位記番号 第 260 号

学位授与の条件 学位規程第5条該当  
(博士の学位)

論 文 題 目

---

Study on Application of Soil Infiltration and Evapotranspiration  
Models for Estimating Field Water Consumption in a Developing Country

---

(発展途上国における圃場水分消費量の推定のための土壌浸透・蒸発散モデルの適用に関する研究)

---

学位論文受理日 令和4年 12月 6日

学位論文審査終了日 令和5年 2月 7日

審 査 委 員

(主 査) 松野 裕

---

(副主査) 種坂 英次

---

(副主査) 凌 祥之

---

(副 査)

---

指 導 教 員

---

## 論文内容の要旨

圃場の水分消費は土壌浸透による地下部への排水、作物による吸収、そして、作物群落による蒸発散があり、それらは作物栽培の灌水量算定に必要な不可欠な情報である。本研究サイトのミャンマー国イェジン・ダム灌漑地区は、不安定な降水量や生活用水需要との競合から灌漑水利用の効率向上や節水が強く求められている地域であり、圃場の水分消費特性を的確に把握することは非常に重要な課題となる。しかしながら、特に発展途上国では現場観測手法に限られるため、圃場の水分消費特性を評価することは容易ではなく、調査分析において多くの問題に直面する。たとえば、蒸発散量推定法の一つであるボーエン比熱収支法は低コストで観測システムを構築できることから広く利用されているものの、シンプルな理論式であるがゆえに気象条件によって異常値が生じやすい。一方で異常値の発生条件や判定基準に関する議論は限られ、統一的な異常値判定基準は確立していない。また、農地土壌の透水性評価においても、簡易な原位置透水試験と土壌浸透モデルから推定された飽和透水係数が異常値を得る報告は多い一方で、その物理的要因や対処法などは議論されていない。そこで、本研究では、現場観測に制約を受ける発展途上国において、水分消費調査・分析の課題や問題を明らかにするとともに、新たな分析方法を用いて圃場の水分消費特性を合理的に評価することを目的とした。

はじめに、乾季圃場の土壌透水性評価において、原位置透水試験と土壌浸透モデルから推定した飽和透水係数が異常値となる土壌物理的要因は、土壌含水率の低下による初期浸透量の増大であることを明らかにした。さらに、モデル適合を困難にする初期浸透期間を特定する方法を提案し、その期間のデータを除外してモデルを最適化することで飽和透水係数を適切に推定できることを実証した。また、Philip浸透モデルが再現困難な浸透データに対して、他4つの浸透モデルの適合性を検証し、Hortonモデルが浸透曲線の再現性、飽和透水係数の推定に最も優れていることを明らかにした。

次に、ボーエン比熱収支法の異常値判定基準を再定義するとともに、フラックス算出値の異常値が生じやすい微気象条件や時間別発生頻度を明らかにした。異常値判定基準では判定精度を向上させるため、水田条件下における水体の貯熱変化量を新たに考慮するとともに、温湿度センサーの分解能は従来の主観的なセンサーの測定精度を適用せず、データロガー側の最大入力電圧範囲から求めた分解能を採用した。そして、フラックス算出値を異常値判定した結果、乾季水稻作では時間データの56%、夜間においては98%が異常値と判定された。このことは、異常値は潜熱フラックスが上向きで、顕熱フラックスが下向きになりやすい微気象条件で生じやすいこと、すなわち、地表面の水蒸気が凝結しやすい観測条件ではボーエン比熱収支法は適用できないことを明らかにした。乾季水稻作では2高度の比湿と風速からフラックスを求める空気力学的方法との併用観測が低コストで合理的であると結論づけた。また、作物群落の蒸発量と蒸散量をそれぞれ直接計測することは困難であることから、これまで報告事例のない2層蒸発散モデル+階層ベイズ推定を用いることによって、蒸発散データを蒸発と蒸散に分割推定できることを示した。ただし、飽和した地表面の観測条件では、蒸発を過大評価する傾向が認められ、蒸発・蒸散の推定値の精度検証が必要であることを確認した。さらに、2層蒸発散モデル+階層ベイズは、2層蒸発散モデル+単層ベイズ、1層蒸発散モデル+単層・階層ベイズに比較して、蒸発散値の再現性や推定精度が高いことを明らかにした。

最後に、連続計測できないが簡易かつ高精度のマニュアル水田減水深計測とその欠損データを内挿補間する階層ベイズ統計モデリングを組み合わせ、これまで報告事例のない再生イネの作物係数（基準蒸発量に対する蒸発散量の割合）を決定した。通常イネの作物係数はS字型の増加曲線を示すが、再生イネはその旺盛な初期分けつ特性から放物線の増加曲線を示し、水稻再生二期作の用水計画は一作と二作（再生イネ）の水分消費特性の違いに留意して策定する必要があることを明らかにした。

以上、本研究の一連の成果は、現場観測手法が限られる地域において、圃場の水分消費特性の評価に資するものであり、水利用向上のための灌漑計画の策定に貢献すると考える。

## 論文審査結果の要旨

現在、世界での淡水資源の70%以上は農業に使用されているが、途上国においてはその割合が高くなる傾向がある。また、途上国においてはその経済発展の過程において、農業以外のセクターとの水争いが顕著となる例も見受けられている。そのような状況下においては、灌漑農地における水利用効率を高めていく必要があるが、そのためには地域によって差異のある栽培作物、気候、ならびに土壤に依存する蒸発散量および圃場への浸透水量、すなわち作物が健全に育つための必要水量を正確に求める必要がある。そこで、当該研究では、東南アジアの中でも比較的発展が遅れているミャンマーを事例として、蒸発散量および土壤浸透水量を比較的簡易で現場でも容易に適応可能な方法で評価し、土壤水分量を算定する手法を構築している。

当該研究における一連の成果は、4本の原著論文、うち3本は英文誌に発表しており、現場観測が限られる地域における水田の水分消費特性評価に資するものであり、水利用の効率向上のための灌漑計画の緻密な策定に多大に貢献することが期待できる。特に以下の点について学術的な新規性および有用性が認められる：

1. 乾季圃場の透水性評価において、原位置透水試験と土壤浸透モデルから推定した飽和透水係数が異常値となる土壤物理的要因は、土壤含水率の低下による初期浸透量の増大であることを明らかにした。さらに、モデル推定を困難にする初期浸透期間を特定する方法を提案し、その期間のデータを除外してモデルを最適化することで飽和透水係数を適切に算定できることを実証した。また、複数の土壤水浸透モデルの適合性を検証し、Hortonモデルが浸透曲線の再現性、飽和透水係数の推定に最も優れていることを明らかにした。
2. 圃場内の各熱エネルギー項(成分)を解析することによって蒸発散量を算定するボーエン比熱収支法の異常値判定基準を再定義するとともに、フラックス算出値の異常値が生じやすい微気象条件や時間帯を明らかにした。そして、乾季水稲作では2つの高度の比湿と風速からフラックスを求める空気力学的方法との併用観測が低コストで合理的であることを明確にした。ボーエン比熱収支法は、現場で比較的簡易に適用することが可能であるが、条件によってその誤差も大きくなる事例が報告されている。本研究により、ボーエン比熱収支法の適用条件を明らかにし、地域によって異なる気象や土壤での適用可能性が判断できるようになった。
3. 2層蒸発散モデルを階層ベイズ推定と併用して用いることによって、蒸発散データを蒸発と蒸散に分割推定できることを示した。そして、2層蒸発散モデル+階層ベイズは、2層蒸発散モデル+単層ベイズ、1層蒸発散モデル+単層・階層ベイズに比較して、蒸発散値の再現性や推定精度が高いことを明らかにした。階層ベイズ推定モデルを当該分野に応用した例はあまり見られず、さらにその有用性を明らかにした本研究の意義は大きい。
4. 近年、その持続性や栽培管理効率が見直されているラトゥーンイネ（ヒコバエ）、すなわち前作からの再生状態からイネを育てる栽培方法に着目し、連続計測できないが、簡易かつ高精度の水田減水深計測とその欠損データを内挿補間する階層ベイズ統計モデリングを組み合わせて、これまで報告事例のない再生イネの作物係数を決定することを可能とした。すなわち、再生イネの作物係数は、その旺盛な初期分げつ特性から放物線の増加曲線を示し、水稲再生二期作の用水計画は一作と二作（再生イネ）の水分消費特性の違いに留意して策定する必要があることを明らかにした。この研究は、ラトゥーンイネの灌漑計画策定に大きく寄与する。

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、審査にあたっては、論文に関する専攻内審査および公聴会など所定の手続きを経たうえ、令和5年2月15日、農学研究科教授会において、論文の価値ならびに博士の学位を授与される学力が十分であると認められた。