

学位論文審査の結果の要旨

氏名	Yanyan WANG
審査委員	主査 大上 博基 副査 戎 信宏 副査 森 牧人 副査 松村 伸二 副査 佐藤 嘉展

論文名

Study on micrometeorological environment and the modeling in rice paddy fields
(水田における微気象環境とそのモデル化に関する研究)

審査結果の要旨

近年、地球温暖化や都市化地域におけるヒートアイランドにより、水田地帯とりわけ地目混在化地域の水田は、夏季に高温条件となる機会が益々増加している。イネの高温障害に関する多くの研究では、穂の温度が 35°C 付近を超えると高い割合で不稔障害の影響を受ける（たとえば Matsui *et. al.*, 1997）ことがわかっている。一方、CO₂-FACE（大気 CO₂ 濃度上昇）実験による観測結果とモデルによるシミュレーション結果から、CO₂ 濃度の上昇に伴う気孔コンダクタンスの低下と葉温の上昇により、穂温が上昇することが確かめられている（たとえば Oue *et. al.*, 2005）。このような大気環境の変化に伴うイネの高温障害の危険性が高まる現在、食料安全保障の観点から、栽培学的または育種学的な手法だけでなく、水管理学的な手法によっても、それを予測し回避する科学的な技術の開発が待たれている現状にある。

本論文の目的は、水田の微気象観測によって熱収支特性を明らかにするとともに、水管理手法による葉温と穂温の低下効果を実証し、水田の微気象環境をモデル化することにより、葉温と穂温および高温障害の危険性を予測することである。本論文の内容は次の 3 項目に分けられる。第一に、水田の熱収支特性を明らかにするため、各種の気孔抵抗値をモデル化することにより、気象条件に対する気孔の環境応答を再現し、水田のボーエン比を予測した。第二に、水田に設置した毎日灌漑（湛水深 2, 5, 10, 15cm）の実験区と、通常の水管理を行う間断灌漑の対照区において、イネ植物体温度（葉温と穂温）の鉛直分布を測定し、灌漑と湛水によって葉温と穂温が低下することを実証した。第三に、群落温度、葉温、穂温を予測する 3 層微気象モデルを開発し、与えられた気象条件における穂温の予測に成功した。

以下、論文を構成するテーマごとに、その内容と評価できる点を整理し、審査結果を記述する。

(1) 水田の熱収支とボーエン比の予測

愛媛大学農学部の実験水田（黒米）を調査対象とし、イネ群落上部における放射収支 4 項目と気温・湿度・風速の鉛直分布、群落下の水温、地中熱フラックスを連続自動測定するとともに、蒸発散量をライシメータで実測し、水田の放射収支と熱収支特性を検討した。その結果、水田の蒸発散が可能蒸発量を上回ることで、ボーエン比がしばしばマイナス値になる特徴を確認した。この特徴が主として気孔の環境応答によると考え、各種の群落抵抗を日射量と飽差(VPD)でパラメータ化した結果、群落抵抗と臨界群落抵抗（Oue, 2005）の差がボーエン比と高い相関を有することを確認した。この方法で予測したボ

一エン比を適用し、水田の蒸発散がよく推定できることを示した。

本研究の成果は、気象条件と気孔の応答特性によって水田の熱収支特性の原因を説明した点であると評価できる。また、本研究で適用した各種抵抗値のパラメータ化手法は、(3)の研究で応用された。

(2) 灌漑と湛水が葉温と穂温を低下させる効果の解明

愛媛大学附属高校の水田；「あきたこまち」と「にこまる」の2圃場を調査対象とし、毎日灌漑して湛水深を2, 5, 10, 15cm（「にこまる」は15cm湛水深のみ）とする実験区と通常の水管理を行う間断灌漑の対照区において、出穂期直前から黄熟期にかけて、好天日の日中2～3時間ごとに、イネ植物体温度（葉温と穂温）の鉛直分布を測定した。灌漑実施の時刻は、「あきたこまち」では毎日朝8:30から登熟期に正午に変更し、「にこまる」では正午とした。その結果、15cm湛水の「あきたこまち」実験区における葉と穂の低下温度は、他区における低下温度よりも大きくかつ有意な差を示した。全測定結果を単純に平均すると、実験区では対照区と比較して葉温が0.83℃、穂温が1.31℃低かった。また、「にこまる」実験区では対照区と比較して葉温が1.14℃、穂温が1.04℃低かった。以上の差はすべて有意水準5%で有意であった。また、実験区と対照区における葉温と気温の差と気象条件の相関を調べた結果、日射量との相関が最も高く、次に気温との相関が高かった。

本研究の成果は、夏季の高温条件下で、水管理学的な手法で葉温と穂温の上昇を抑制する効果を実証したことであり、とくに晴天・高温条件という高温障害が懸念される環境下でその効果が高いことを実験的に示した点が評価できる。

(3) 3層微気象モデルの開発とそれによる穂温の予測

水田群落を水面とイネ植物体上下2層の合計3層に分け、群落内部における放射収支と熱収支を再現する3層微気象モデルを構築した。イネ植物体を上下2層に分けた理由は、上部層に穂が存在するからであり、穂温を予測するという本研究の目的に沿った方針に基づく。従来の群落微気象研究では、主としてフラックス予測のためには1層モデル（Big Leafモデル）、群落下部の土壌面や水面からの蒸発と群落からの蒸散を分けて予測するためには2層モデル、群落上部と内部の微気象環境や蒸散・光合成を詳細に再現する必要がある場合には多層モデルが用いられている。したがって、穂温にテーマを絞って3層モデルを用いた研究は稀有である。このモデルでは、基本的には従来のモデルと同様に、放射収支・熱収支式を立て、熱収支を構成する各フラックスが空気力学的抵抗や各群落抵抗を用いた輸送式で表現されている。未知パラメータである各種抵抗値は、水田での微気象観測値を活用して逆算され、最終的に穂の熱収支式と穂の顕熱・潜熱フラックスを構成する空気力学抵抗は風速で、穂の蒸散抵抗は出穂日からの経過日数で、ともに合理的にパラメータ化された。本モデルで群落上部層と下部層の群落表面温度が推定され、いずれも測定値を高い精度で再現することができた。また、群落全体の表面温度と穂温の推定結果は、従来の2層モデルによる推定値よりも高い精度で推定することができ、穂温予測モデルとしての本モデルの有効性が評価された。

本研究の成果は、穂温予測に目標を定めた3層モデルを新たに開発したことと、本モデルを適用することによって、とくにどのような条件で穂温が高くなる可能性があるか予測でき、また逆に水管理技術による穂温の上昇抑制を高い精度で予測できる点であると評価できる。

以上のように本論文は、水田における微気象環境のモデル化と葉温と穂温の予測を目的とし、3層モデルの適用性を明らかにした。博士論文として評価できる点は、モデルに含まれる各種パラメータの決定が、すべて本研究の対象であるフィールドにおける実測データに基づいていることと、実用的なモデル化を目指して各種の工夫を組み込んでいることである。このような実証的研究は、フィールドにおける地道な研究姿勢がなければ成り立たない。また、本論文が提示した各種パラメータのサブモデルとモデルの適用性に対する考察は、今後の当該分野の研究の発展に寄与するといえる。

本論文に関する公開審査会は、平成28年8月6日に香川大学農学部において開催され、学位論文発表と質疑応答が行われた。引き続き開催された学位審査委員会で本論文を慎重に審査し、審査委員全員一致して、本論文が博士（農学）の学位を授与するに値するものと判定した。