



TITLE:

Studies on a robust method for estimating rice canopy transpiration based on the heat balance model and its application(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Kondo, Rintaro

CITATION:

Kondo, Rintaro. Studies on a robust method for estimating rice canopy transpiration based on the heat balance model and its application. 京都大学, 2021, 博士(農学)

ISSUE DATE:

2021-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k23518>

RIGHT:

許諾条件により本文は2022-09-22に公開

(続紙 1)

京都大学	博士 (農 学)	氏名	近藤 琳太郎
論文題目	Studies on a robust method for estimating rice canopy transpiration based on the heat balance model and its application (熱収支モデルに基づく頑健なイネ群落蒸散推定手法およびその応用に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>蒸散速度は、作物の生産機能の要となる光合成速度と密接に関連する。圃場条件下で群落蒸散速度を安定的かつ短時間間隔で評価するための手法は限られ、しかも大規模な設備を要する。このため、群落蒸散の気象条件の変化に対する応答とその遺伝子型間差異に関する知見はきわめて限られる。本論文は、イネ群落の物質生産に関するさらなる知見を得るために、圃場における群落蒸散速度測定手法を開発し、それにより群落蒸散と収量形成および気象条件との関連を評価することを目的として行った研究の成果を取りまとめたものであり、その内容は以下のように要約される。</p> <p>第1章緒言では、生産性向上を目指したイネ群落の光合成ならびに蒸散に関する研究の現状を概観し、刻々変化する気象条件下でのガス交換能の知見が不足していることを述べるとともに、群落蒸散速度の短時間間隔の計測を長時間継続して行うことの必要性を指摘した。</p> <p>第2章では、イネ群落蒸散速度を気象条件の影響を受けずに安定的に測定する方法の開発を行った。群落蒸散速度(E)は水蒸気圧勾配を群落拡散抵抗(r_c)と空気力学的抵抗(r_a)の和で除して求められる。熱収支モデルは、植物群落の吸収エネルギーが顕熱および潜熱輸送に消費されると仮定し、それぞれに関わる微気象および群落形質からEおよびr_cを算出する。既往のモデルでは、r_aが風速と反比例するとの仮定を含むため、弱風条件でのr_aが極大となりEの算出が困難であった。これを解決するため、無風時のr_a (r_{a*})を実測し、それにもとづいて弱風条件でのr_aを補正する方法を考案した。‘コシヒカリ’および‘タカナリ’を含む7品種の群落において、夜間に無風環境を作り出し、そこに赤外線ヒーターを用いて熱を照射した。熱照射前後の群落表面温度の差をもとに、r_{a*}を測定した。その結果、r_{a*}の値に9.5~35.4 s m⁻¹の変異幅を認めるとともに、それが葉面積密度(葉面積指数/群落高)と有意な相関を示すことを明らかにした。長時間連続測定を行った結果、これまで頻出していた異常値は大幅に減少して、r_{a*}をもとにした熱収支モデルの補正により群落コンダクタンス(r_cの逆数、g_c)の推定が可能な条件が大幅に増加し、熱収支モデルの弱風条件における頑健性が向上したことが示された。</p> <p>第3章では、圃場条件下におけるイネ群落蒸散の連続測定結果ならびにそれと収量形成との関連を解析した。2017年7月18日から25日の間、京都大学附属京都農場において、上記7品種の群落表面温度(Tc)および水田圃場の気象データを補正後の熱収支モデルに入力し、g_cおよびEを1秒間隔で連続的に測定した。Eの日積算値は2.3~10.3 kg m⁻²d⁻¹の変異幅を示し、純放射(Rn)の日積算値の変動と対応していた。これらの結果は圃場条件の蒸発散量とその変動に関する既往の知見とよく一致していた。すべての測定日においてEの日積算値には有意な品種間差異が認められ、晴天日午前の積算値と最終収量との有意な相関関係が検出された。以上より、補正後の熱収支モデルにより、圃場条件においてイネ群落の蒸散を定量化し、収量形成過程との関わりをとらえることが可能であると思われた。</p> <p>第4章では、ニューラルネットワークを用いたイネ群落蒸散速度の推定およびその気象条件に対する応答の評価を行った。本研究の蒸散速度測定手法は、イネ群落のEに関する多量の時系列データを蓄積することを可能にした。しかし、Tcの測定には依然大きな労力を要する。そこで、圃場で測定された気象データのみからEを推定するモデルの開発を行った。2018年および2019年の7月18日から25日の間、補正後の熱収</p>			

支モデルを用いて‘コシヒカリ’および‘タカナリ’のEを測定し、前章の測定結果を合わせて2品種計200万点のデータを取得した。そのうち約148万点のデータをもとに、ニューラルネットワーク(NN)を用いて、気象データ(気温、湿度、Rn)と時刻を入力変数、Eを出力変数とするモデルを構築した。構築されたモデルをもとに両品種のEを、計26万点の気象データから算出し E_{NN} とした。その結果、晴天日においては E_{NN} の予測を $R^2 = 0.76 \sim 0.85$ の精度で行うことができた。感度分析によって、気象条件の変動に対する両品種の E_{NN} の応答を量的に比較したところ、‘タカナリ’の E_{NN} は、気温が 25°C 以上 30°C 以下、Rnが 700 W m^{-2} 以下の条件下で‘コシヒカリ’よりも高い一方で、気温 35°C 付近の条件下では‘コシヒカリ’よりも低かった。すなわち、‘コシヒカリ’と‘タカナリ’は高い群落蒸散速度を示す気象条件が異なっており、これには、両品種の乾燥や日射に対する気孔の応答性の違いが影響していると推察した。

第5章では、開発した蒸散速度測定手法の利点と課題を整理し、今後、本モデルを適用できる品種および生育時期の拡大、さらに他の作物種への応用が進めば、作物収量に関する形質評価の効率化に資するとした。

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)

光合成能力は、作物の物質生産性向上の鍵を握るとされるが、高い光合成能の実際の生産性への寄与は、圃場において群落光合成速度を評価することによって検証されことによりはじめて明確になる。しかし、群落光合成速度の測定は大規模な施設と労力を要する。このことを解決する手段として、光合成速度と密接に関連する蒸散速度を、群落表面温度の測定結果と気象データを熱収支モデルに与えて算出する方法がある。しかしこの方法も、気象条件の変動およびそれにもなつて刻々変化する群落表面温度の特性による不安定性により実用化されるには至っていない。本研究は、風速の影響を受けにくい群落蒸散速度測定手法を開発し、それにより群落蒸散と収量形成および気象条件との関連を評価したものであり、評価すべき点は、以下の通りである。

1. 熱収支モデルに補正を加えることにより、風速の影響を受けにくい頑健な群落蒸散速度測定法を開発した。すなわち、太陽放射および風のない条件で群落上から照射した熱の吸収を測定することで、風速に依存しない群落表面の熱輸送抵抗を実測し、それをもとに既存の熱収支モデルを補正することにより、測定を飛躍的に安定化させるとともに、これまで困難であった弱風条件下を含む長時間にわたる蒸散速度および群落拡散抵抗の1秒間隔での測定に成功した。

2. 開発した群落蒸散速度測定法を用いた連続測定により、群落蒸散速度と気象条件との関係に関する膨大なデータセットを構築するとともに、それを用いた解析から、光合成能力が異なる‘コシヒカリ’および‘タカナリ’の群落光合成速度の気象応答特性を明らかにした。かねてから‘タカナリ’の優れた気孔コンダクタンスは高飽差下では不明瞭になることが指摘されていたが、本研究により、群落レベルの蒸散速度においても‘タカナリ’のそれは高温、高飽差下では‘コシヒカリ’と同等もしくはそれよりも低くなることを実証した。

以上のように、本論文はイネの生産性に関わる群落蒸散機能の評価を安定的に行える手法を開発するとともに、群落蒸散の気象応答の品種間差異に関する新たな知見を提供したものであり、作物学、育種学、農業気象学およびイネの物質生産研究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、令和3年7月15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)