

学 位 論 文 題 名

気象情報に基づいた水稻生育のモデル化に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は、図 37, 表 13, 137 ページからなる和文で、別に 6 編の参考文献が添えられている。

現在、大気中の CO₂ 濃度の増加に伴い、気候の温暖化が問題になっている。このような環境変化が将来食料生産にどのような変化を及ぼすかを予測する事が求められている。このためには、作物生産と気象要素を結びつけたモデルが必要である。また、将来の温暖化に備えて、農業生産と気象の関係を体系的に理解し、栽培管理、水管理計画や適地適作の策定のためにも、気象要素に基づいた生育モデルの確立が不可欠である。

。今までの作物生産のモデルは、予測精度が十分でなかったり、モデルの構造が複雑であったりして、実用化には問題があった。そのため著者は簡易で精度の高いモデルの確立を目標に、幼穂形成期、出穂期の推定モデルと地上部乾物重の推定モデルを構築した。さらに、これらのモデルとメッシュ気候値とを組み合わせ、関東地方の安全移植期間、最終地上部乾物重の分布図を作成した。これにより、気象要素に基づいた水稻生育モデルは、計画的な栽培管理、適地適作の策定、農業生産のための気候立地計画等に実用的水準で利用できることを示した。

第 1 章は「緒論」であり、この研究の目的や既往の研究を述べている。

。第 2 章は「発育速度による水稻の幼穂形成期と出穂期の推定モデル」の構築である。水稻の作期移動試験を行い、気象要素の関数である発育速度を積算した発育指数により幼穂形成始期、出穂期を推定した。さらに、5 種の発育速度の式を比較し推定精度を検討した。発育速度式のパラメータは非線形最小 2 乗法で求めた。その結果、発育速度式は気温のみの式よりも、気温と日長時間の式の方が、実測値と推定値の残差 2 乗和をデータ数で割った平方根である標準誤差が小さいことが判明した。また、気温のみの式の間、気温と日長時間の式の間では、標準誤差に大

きな差がないことも明らかになった。本試験のような同一地点で幅広い播種期で得られた幼穂形成始期、出穂期を推定する発育速度式は、気温のみの式は一次式、気温と日長時間の式は重回帰式等のパラメータの少ない簡単な式でも十分であり、実際の生産現場で利用が可能であると結論した。

第3章は「穂の伸長による水稻の出穂期の推定モデル」の構築である。穂の伸長から出穂期を推定することは、冷害時などに計画的な水管理や栽培管理を行うために重要である。水稻の作期移動試験を行い、穂の伸長過程から出穂期を推定するモデルを構築した。モデルは、幼穂形成始期から止葉の葉鞘長、穂長、穂首節間長などの対数値の伸長速度を気温の一次式で表し、穂と止葉の葉鞘の長さの比、穂と穂首節間の長さの比を一定としたものである。モデルのパラメータは非線形最小2乗法で求めた。この伸長モデルは、実測の長さの対数値の推移を再現し、出穂期を標準誤差2日以内で推定することを確認した。

第4章は「日長及び水温を考慮した水稻の出穂期の推定モデル」の構築である。第2章で水稻の出穂期の推定に日長を加えると精度が良いことが判明した。そのため種々の日長反応性を有する6品種について、自然日長下における出穂期を調査し、日長の変化を含めた出穂予測モデルを模索した。すなわち、定温、自然日長下における水稻の出穂期を調査し、この結果に基づき、日長の影響を含めた出穂予測モデルを構築した。従来、水稻の日長反応に関する実験は、一定の日長時間の下で行われ、本研究のような連続的に変化する自然日長下での実験例は少なく、その結果に基づいたモデル化は行われていない。実験は一定気温に制御したガラス温室内で、2週間毎に1年間、6品種を播種し出穂を調査した。

第5章は「水稻地上部重の簡易推定モデル」の構築である。気象要素から水稻の地上部重（地上部乾物重）を推定するモデルを構築した。モデルは乾物生産量が葉群に遮蔽される日射量に近似的に比例することを前提にしている。作期移動試験を行い、2週間毎に全葉重（展開した葉の乾物重）、枯葉重（枯葉の乾物重）、地上部重及び光透過率を測定した。最初に、日射量を遮蔽する葉の生長をモデルで表現した。積算気温の関数で全葉重と枯葉重をあてはめ、全葉重から枯葉重を引いて葉重を表した。次に、葉重の指数関数で光透過率を表した。また、遮蔽日射量の総量と地上部重の関係から光利用効率を求めた。これらの関係を用いて、地上部重の簡易モデルを構築した。モデルは、葉重には適合したが、生育後半の地上部重を過大に評価したため、一定の積算気温に達した後に葉が老化すると仮定し、全葉重から老化した葉重を引いて葉重を補

正した。このモデルは生育期間全体の地上部重の推移を再現することができ、収穫時の地上部重の推定が可能であることが示された。

第6章は「メッシュ気候値による水稻モデルの利用」である。発育速度による出穂期推定モデルと水稻の計画栽培策定法及びメッシュ気候値を組み合わせて、関東地方の安全移植期間の分布図を作成し、適地判定を行った。安全移植期間は、関東平野の太平洋側では90日以上、その他の主な地帯では60～90日、北部では60日以下であった。周辺部の山地、山脈地帯では0日であり適地とはいえないと判断された。また、実際の移植期と比較し早植え地帯であるか否かの判定を可能にした。さらに、地上部重の簡易モデルとメッシュ気候値を組み合わせて、関東地方の最終地上部重の分布図を作成し、平均収量と比較した。最終地上部重は東京都周辺では小さな値を示し、千葉県、茨城県南部と沿岸部および栃木県の北部などでは大きな値を示した。この分布は千葉県の東部沿岸部、茨城県の南部、栃木県の北部が多収地帯である傾向とおおよそ一致し、収量分布推定への応用が示された。

以上の気象要素に基づいた水稻生育モデルは、気候が変化した場合でも、総合的、長期的な視点から栽培管理の策定や農業立地計画に実用的な手法として利用できる。さらに、このモデルをメッシュ気候値と組み合わせることにより利用価値が広がるものと認められた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 堀 口 郁 夫

副 査 教 授 中世古 公 男

副 査 教 授 松 田 豊

学 位 論 文 題 名

気象情報に基づいた水稻生育のモデル化に関する研究

本論文は、図37、表13、137ページからなる和文で、別に6編の参考文献が添えられている。

現在、大気中のCO₂濃度の増加に伴い、気候の温暖化が問題になっている。このような環境変化が将来食料生産にどのような変化を及ぼすかを予測する事が求められている。このためには、作物生産と気象要素を結びつけたモデルが必要である。また、将来の温暖化に対して、農業生産と気象の関係を体系的に理解し、栽培管理、水管理計画や適地適作の策定のためにも、気象要素に基づいた生育モデルの確立が不可欠である。

今までの作物生産のモデルは、予測精度が十分でなかったり、モデルの構造が複雑であったりして、実用化には問題があった。そのため著者は簡易で精度の高いモデルの確立を目標に、幼穂形成期、出穂期の推定モデルと地上部乾物重の推定モデルを構築した。さらに、これらの適合性を調べるため、モデルにメッシュ気候値を適用して、関東地方の安全移植期間と最終地上部乾物重の分布図を作成し、気候に基づいた適地適作の策定や農業立地計画等に利用できることを立証した。

第1章は「緒論」であり、この研究の目的や既往の研究を述べている。

第2章は「発育速度による水稻の幼穂形成期と出穂期の推定モデル」の構築である。5品種の水稻の作期移動試験を行い、気象要素の関数である発育速度式を用いて幼穂形成期、出穂期を推定した。推定に際して、5種類の発育速度式のパラメータを非線形最小2乗法で求め、比較した。その結果、発育速度式は気温のみの式よりも、気温と日長時間を用いた式の方が精度が高いことを示した。しかし、2種類の気温のみの式の間や3種類の気温と日長時間の式の間には、精度に大きな差がないことも明らかにした。したがって、気温のみの推定式は簡単な一次式、気温と日長時間の推定式は重回帰式等の簡単な式でも十分であり、実際の生産現場で利用が可能であると結論した。

第3章は「穂の伸長による水稻の出穂期の推定モデル」の構築である。穂の伸長から出穂期を推定することは、冷害時などに計画的な水管理や栽培管理を行うために重要である。モデルは、止葉の葉鞘長、穂長、穂首節間長などの対数値を気温の一次式で表したもので、パラメータは非線形最小2乗法で求めた。このモデルを検証した結果、標準誤差2日以内で出穂期が推定できることを確認した。

第4章は「日長及び水温を考慮した水稻の出穂期の推定モデル」の構築である。第2章で水稻の出穂期の推定に日長を加えると精度が良いことが判明した。そのため種々な日長反応性を有する6品種について、自然日長下における出穂期を調査し、日長の変化を含めた出穂予測モデルを模索した。その結果、8月から12月頃の短日下に播種した場合には、出穂までの日数がほぼ一定であった。また、3月から7月頃の長日下に播種した場合には、出穂までの日数が増加した。そのため、モデルは短日下の出穂までの日数に、長日のため増加した日数を加えた関数とした。しかし、これには水温の影響があるため日数を積算水温に置き換えたモデル式を構築した。モデル式を使用して推定した出穂までの日数は実測日数とほぼ一致し、このモデルが出穂予測のために有効であることが認められた。

第5章は「水稻地上部重の簡易推定モデル」の構築である。水稻の作期移動試験を行い、気象要素から地上部重を推定するモデルを作成した。モデルは全葉重から枯葉重を引いて葉重を表した。次に、遮蔽日射量の総量と地上部重の関係から地上部重のモデルを作成し、さらに一定の積算気温に達した後に葉は老化すると仮定して葉重を補正した。このモデルは生育期間全体の地上部重の推移を再現することができ、収穫時の地上部重の推定が可能であることが示された。

第6章は「メッシュ気候値による水稻モデルの利用」である。出穂期の推定モデルと計画栽培策定法及びメッシュ気候値を組み合わせ、関東地方の安全移植期間の分布図を作成した。さらに、地上部重の簡易モデルとメッシュ気候値を組み合わせ、関東地方の最終地上部重の分布図を作成した。最終地上部重は、千葉県、茨城県の南部と沿岸部および栃木県の北部などで大きな値を示し、多収地帯とおおよその傾向が一致し、収量分布推定への利用が確認された。

以上のように本研究は、作期移動試験を数多く行い、その結果から水稻の出穂期や地上部重などの簡易モデルを構築したものである。この成果は学術的並びに実用的に高く評価される。よって審査員一同は、川方俊和が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。