

審査の結果の要旨

氏名 戸田 悠介

収穫時に観察される収量や品質などの形質は、成長過程を通じて決定されるため、成長過程の解析が育種学における重要な課題となっている。目的形質の形成過程の詳細な解析は、遺伝機構の理解や遺伝的改良の効率化につながると期待されるが、成長過程の計測には多大な労力が必要なため、多系統を用いた遺伝解析を行うことが難しかった。近年のセンシング技術の発達は、無人航空機（UAV）等を用いた多系統の経時的観察を可能とした。今後、こうした技術を用いて成長過程の遺伝解析を行うには、適切なモデルの開発と応用が不可欠となる。申請者は、このような視点から、作物の成長における遺伝と環境による影響を解析するためのモデルを開発し、その有用性を検証した。

第 2 章では、研究背景となる各種手法（量的遺伝学の手法、成長過程のモデル化手法、作物生育モデル）が紹介された。

第 3 章では、作物成長モデルとゲノミック予測モデルを融合するモデルが開発された。同モデルは、標準的なゲノミック予測（GP）では扱えない遺伝子型×環境交互作用（GxE）を考慮したモデルである。材料にはイネ組換え近交系が用いられ、成長関連形質を介してバイオマスを予測する 2 段階モデルが開発された。第 1 段階では、出穂日以外の成長関連形質が GP で予測され、出穂日は出穂関連遺伝子に基づく発育速度モデルで予測された。第 2 段階では、予測された成長関連形質をもとに作物成長モデル（CGM）や機械学習を用いてバイオマスが予測された。その結果、CGM や機械学習を用いたモデルは標準的な GP よりも予測精度が優れていることが示された。

第 4 章では、UAV を用いたリモートセンシング（RS）と時系列成長モデルを用いた手法が開発された。RS データに多形質を同時予測する GP（MGP）を適用することで予測精度が向上することが知られていた。しかし、同方法は、高次元の RS データへの適用が難しい。申請者は、UAV で収集された高次元 RS データに時系列成長モデルを適用し、そのモデルパラメータに対して MGP を適用する方法を提案した。同モデルをダイズ遺伝資源の栽培試験データに適用して収穫時バイオマスの予測を行った結果、成長モデルのパラメータをもとに成長パターンの違いが表現できること、また、同パラメータの MGP により収穫時

バイオマスの予測精度を向上できる場合があることを示した。

第 5 章では、第 4 章と同様のアプローチであるが、成長と老化の両方を考慮するモデルが開発された。申請者は、同モデルをダイズ遺伝資源の栽培試験データに適用し、RS で計測された群落植被面積の変化を予測するモデルを構築した。開発されたモデルは成長前期のデータから成長後期を予測する精度が高く、栽培中に今後の成長を予測する場面で特に有用と考えられた。

第 6 章では、日々の成長に対する遺伝と環境による影響をモデル化し、成長曲線を予測する手法が開発された。成長過程における GxE は、成長過程の計測が困難なため、これまでほとんど研究が行われてこなかった。申請者は、UAV-RS で得られる成長データから、日々の成長にみられる GxE をモデル化する手法を開発した。なお、モデル化には植被面積と草丈の正確な計測値が必要となるが、UAV-RS データは計測バイアスが大きいことが知られていた。申請者は、まず、計測バイアスを推定し、計測値の補正を行うモデルを構築した。次に、統計モデルと機械学習モデルを用いて、日々の成長にみられる GxE をモデル化した。機械学習モデルとして、環境データとマーカー遺伝子型データを入力とするブラックボックスモデルが構築された。統計モデルとして、同じ入力をもとに、環境応答を曲線として表現するモデルが構築された。その結果、統計モデルを用いることで、土壌水分と成長の関係をモデル化できることが示された。一方、日々の成長の予測精度では、機械学習モデルが統計モデルを上回った。

第 7 章では、成長過程の計測とそのモデル化手法という視点から、得られた結果の総括と議論が行われた。

申請者が提案した手法により、CGM、GP、成長モデルを融合し、成長過程のデータ、ゲノムデータ、環境データ間の関係のモデル化が可能となる。今後、RS が作物育種に広く利用されるようになれば、成長過程をモデル化する同手法が、有用な遺伝的洞察を引き出し、作物育種に利益をもたらすと期待される。これらの研究成果は、学術上応用上寄与するところが少なくない。よって、審査委員一同は本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。