

## 審査の結果の要旨

氏名 田中 凌慧

ゲノミック予測とは、ゲノムワイドマーカー遺伝子型をもとに表現型を予測する技術である。ゲノミック予測をもとに優良個体・系統の選抜を行う技術をゲノミック選抜という。両技術とも、育種のボトルネックとなっている表現型評価を省略し、育種の効率化・最適化に貢献すると期待されている。一方、ゲノミック予測・選抜をもとに育種を効率化・最適化するためには、効率化・最適化を目的とした手法やアルゴリズムを開発することも重要である。申請者は、ゲノミック予測・選抜を用いた育種の効率化・最適化を目的として、新規手法の開発を行った。

申請者は、序論と第 2 章において、ゲノミック予測の概略と、ゲノミック予測のための代表的なモデル化手法および研究課題について説明を行った。

第 3 章では、能動学習に基づくゲノミック予測モデルの効率的構築について研究が行われた。申請者は、能動的に訓練データを選択してモデルを更新する能動学習について、ゲノミック予測のモデル構築に応用し、その有効性を評価した。より具体的には、マーカー遺伝子型データが既に得られている全系統から一部を選んで表現型データを取得し、予測モデルの更新を行う場合に、能動学習のアルゴリズムをもとに系統を選ぶことで、より少ない系統数で高い精度のモデルが得られるか検討を行った。イネ・コムギ・トウモロコシの農業形質に関する 4 データセットについて能動学習と無作為な学習を適用して比較を行った結果、ほとんどの場合に、能動学習で得られるモデルの精度が無作為な学習で得られるモデルの精度に勝り、能動学習が訓練データを選択するための方法として有効であることを明らかにした。

第 4 章では、ベイズ最適化に基づく優良系統の効率的発見について研究が行われた。申請者は、最適化関数が既知ではない場合に最適値を探索する、所謂 **black-box** 最適化法であるベイズ最適化について、多数の遺伝資源から優良系統を選抜するために利用できるかどうか検討を行った。申請者は、ゲノミック予測で用いられる GBLUP がガウス過程回帰モデルの一種であることを示し、その事後予測分布をもとに期待改善量を算出し、これを優良系統の選抜を行う際

の獲得関数として利用することを提案した。また、提案手法について、4 データセットをもとにシミュレーションを行い、期待改善量に基づく選抜戦略が、通常のゲノミック予測で行われる選抜に比べて、平均で 30%ほど少ない試験系統数で、遺伝資源内の最良の系統を発見できることを示した。

第 5 章では、ゲノミック予測による多環境試験デザインの最適化について研究が行われた。申請者は、大きなコストを伴う多環境試験について、各環境で栽培される系統の組合せを最適化することで、少ない系統数で精度の高い予測モデルが得られるかどうか検討した。申請者は、予測誤差分散 (PEV)、決定係数 (CD) とよばれる学習用集団を最適化するために提案された指標について、多環境試験のデザインに適用できるように拡張を行った。また、同指標を 4 データセットに適用してゲノミック予測の精度評価を行い、指標をもとにした多環境試験デザインの最適化の有効性について検討した。その結果、PEV や CD を用いて多環境試験デザインを最適化する方法の有効性が示された。

第 6 章では、ゲノミック予測に基づく交配後代の分離予測に関するシミュレーション研究が行われた。申請者は、後代におけるマーカー遺伝子型分離を擬似的に生成することで、後代集団における遺伝子型値の平均や分散を推定する方法について、その予測精度の検討を行った。申請者は、理論式を導出することで、予測の不確実性を考慮しなければ、後代分散が大きく過小評価されることを示した。また、マーカー効果の事前分布が異なる 2 つのベイズ回帰モデルについて、後代分散の予測は一方が他方よりも高い精度を示すことを明らかにし、後代平均の予測では同程度の精度を示すモデルが後代分散では異なる精度を示すことを明らかにした。

これらいずれの研究も、ゲノミック予測・選抜でこれまで取り上げられなかった「予測の不確実性」に注目した研究であり、不確実性を考慮することで、ゲノミック予測・選抜を用いた育種の効率化・最適化が可能であることを、様々な手法や研究課題をもとに示した。ゲノミック予測・選抜は乳牛などで既に大規模に実用化されているが、本研究で示されたような手法・アルゴリズムを用いるによりその効率を一層向上させられると考えられた。審査委員からは、今後、遺伝子情報なども取り入れたより複雑なモデル化について検討することで、こうした手法・アルゴリズムの有用性はますます高まるだろうという意見も出された。

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。