

審査の結果の要旨

氏名 小野木 章雄

複数遺伝子に支配される量的形質の改良は、動植物の育種における重要課題の一つである。近年、分子遺伝学的技術の発達により、高密度 DNA マーカーを多数の個体や系統について取得できるようになってきた。こうした技術を用いて、作物や家畜のもつ遺伝的能力を予測し、優良個体・系統を選抜するゲノミックセレクションや、目的形質を支配する原因遺伝子を検出するゲノムワイド関連解析が、動植物の効率的育種に貢献する手法として大きな注目を集めている。本研究では、ゲノミックセレクションに用いられるゲノムワイド予測やゲノムワイド関連解析のための統計手法の開発と改良を行った。また、イネやウシで収集された実データをもとに、様々な手法について能力評価を行った。

第1章では、ゲノムワイド予測やゲノムワイド関連解析を行うためのソフトウェア開発を行った。これら解析にはベイズ回帰がよく用いられるが、パラメータ推定には一般にマルコフ連鎖モンテカルロ法が用いられ解析に長時間を要する。そこで高速にパラメータ推定を行える変分ベイズ法の推定式を未導出だったモデルについて導出し、ソフトウェア VIGoR に実装した。変分ベイズ法を用いた高速化により、ハイパーパラメータ調整や予測能力評価のための交差検証 (CV) を自動的・効率的に行えるようになった。VIGoR は、コマンドラインプログラムと統計ソフトウェア R のパッケージとして一般に公開される。

第2章では、ゲノムワイド予測では、マーカー数が、サンプル数よりもはるかに多い。こうした状況でも利用できる統計手法や機械学習法について、ゲノムワイド予測の精度評価を行った。評価には、イネ品種の実データとシミュレーションデータを用いた。実データの解析では、ランダムフォレストや RKHS といった非線形回帰が高い予測精度を示すいっぽう、全手法の予測値の平均をとる方法も高い精度を示した。QTL 数、遺伝率、エピスタシスの有無、モデル構築用データのサイズ、連鎖不平衡の範囲について考慮した全 150 通りのシナリオのもとでシミュレーションデータの解析を行い、各手法が適した条件を明らかにした。また、実データとシミュレーションの比較から、各形質の遺伝様式を推測する新しい手法も提案した。

第3章では、ゲノムワイド予測では未試験の環境下における植物の表現型を予測するのが難し

い。そこで、植物の環境応答を予測する作物モデルと、ゲノムワイド予測モデルを統合した新モデルを開発した。具体的には、イネの出穂日を予測する発育速度（DVR）モデルのパラメータ推定にゲノム情報を活用するベイズモデルを複数開発した。開発モデルを緯度が大きく異なる試験地で栽培されたコシヒカリ×カサラス戻し交雑近交系の出穂予測に適用し、その有用性を検討した。比較のために DVR モデルでパラメータ推定後、そのパラメータに対してゲノムワイド予測を行う 2 段階法についても評価を行った。未試験の環境、未試験の系統、その両方の 3 通りの出穂予測を行い、DVR モデルとベイズ回帰法 *extended Bayesian lasso* を統合し、DVR モデルパラメータとマーカー効果を同時推定する新提案のモデルが、全ての場合に最も正確な予測を与えることを示した。

第 4 章では、個体間の血縁情報と各個体のマーカー情報の両方を用いて遺伝的能力を予測する *single-step GBLUP (ssGBLUP)* について、日本固有の肉牛である黒毛和種における予測精度の評価を行った。肥育牛の表現型をもとに検証した結果、3 枝肉形質全てにおいて *ssGBLUP* が従来法の *BLUP* より高い予測精度を示した。マーカー遺伝子型を優先的に決定すべき個体を明らかにするため、既にマーカー遺伝子をもつ個体を複数のサブセットに分割し、各セットを除いた場合の予測精度を評価した。結果、後代を多くもつ種雄牛や表現型記録をもつ肥育牛を優先することで、予測精度を向上させられることを示した。

以上、本研究では、ベイズ回帰を用いてゲノムワイド予測や関連解析を高速に実行するための新たなソフトウェア開発に成功した。また、種々の統計手法や機械学習法について、イネのゲノムワイド予測の精度を明らかにするとともに、各手法が得意とする条件を明らかにした。また実データとシミュレーションデータの解析結果の比較から形質の遺伝様式を推定する新手法を提案した。さらにゲノムワイド予測モデルを作物モデルと統合し、両パラメータを同時推定することで予測精度を向上する新手法の開発にも成功した。黒毛和種をもとに行われた解析では、黒毛和牛で今後進められるゲノム育種事業に有用な知見を示すことができた。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。