

審査の結果の要旨

氏名 鄧博慶

リモートセンシングにより、植物の生育に関わる情報を得ることは、重要な課題である。そのため、航空機に搭載した LiDAR (Airborne LiDAR)を用い、植物の生育に係る植物形状、植物冠高、バイオマス量などの計測が行われている。しかし本方法は、適切な時期に観測を行うことが難しく、コスト的な問題もある。近年、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) にカメラを搭載して植物画像を連続撮影し、SfM(Structure from Motion) という方法をもとに植物の3次元形状を復元する技術が利用可能となってきた。UAV-SfM法はLiDARによる方法と比べ、低コストであり、3次元情報と色情報の複合解析が容易、低高度で高空間解像度の観測が可能といった利点がある。そこで本研究では、UAV-SfM法により、植物群落の3次元モデル構築を行い、植物の生育パラメータを高精度に推定する方法とその精度検証を行うことを目的としている。

第1章の序論に続き、第2章では、イネを対象とし、UAVに搭載されたビデオカメラで撮影された動画の各フレームからSfMにより3次元モデルを構築し、モデルからイネの基本的生育パラメータである高さやイネのキャノピーサイズに関わる水平距離が高精度に推定できるかを検討している。その結果、高さ、水平距離のRMSEはそれぞれ7.3cm及び12.8cmと報告されており、高い精度が得られることが確認されている。SfMの解析においては、動画のサンプリングレートを大きくとり、画像間のオーバーラップ枚数を多く確保することで、高さ及び水平距離の推定精度の向上が可能であることが報告されている。

第3章では、UAV-SfM法を用いて、カラマツ群落を対象とし、地表面を含めた3次元モデルから、基本的パラメータである樹高の推定法の検討とその精度検証を行っている。得られた画像から、対象エリアの高密度点群画像を作成し、まずは地表面とカラマツ群落をともに含む3次元モデルであるDigital Surface Model(DSM)を作成している。そこから地表面の点群を抽出し、Inverse Distance Weighting (IDW)とポリゴン法の2つの方法を用いて地表面の欠落部を補間し、地表面の3次元モデルであるDigital Terrain Model (DTM)を作成している。そして、DSMからDTMを差し引くことにより、地表面の影響を除去した3次元植物高モデルDigital Canopy Height Model (DCHM)を作成している。得られたDCHMから、樹木毎の最高点を抽出し、カラマツ個々の樹高を求めている。上記プロセスを焦点距離が異なる3種類の撮影画像について繰り返し、焦点距離ごとの樹高

推定精度を算出したところ、推定精度が一番高かったのは IDW 法と焦点距離 28 mm のレンズの組み合わせで、RMSE が 47 cm であることが報告されている。この結果を受け、IDW とポリゴン法の違いによる、樹高推定精度の差について、考察が行われている。また、焦点距離の違いは画像のオーバーラップ枚数と関係しており、それによって樹高推定精度に違いが出たことも報告されている。これらの結果より、樹高推定精度をあげるためのカメラ条件や飛行条件について提案が行われている。本研究による方法で最適測定条件をとった場合、既往の研究の方法と比べて良好な結果が得られることが報告されている。

第 4 章では、UAV-SfM を用い、サツマイモ群落の畝立て栽培における生育パラメータの推定方法とその精度評価が報告されている。まず、UAV で得られた画像から 3 次元高密度点群モデルを作成し、そこから IDW 法により DSM を作成している。地表面モデルの作成では、撮影した元画像とそれを 2 値化した画像を処理して植物領域を除いた 3 次元モデルを作成し、そこから IDW 法により DTM を作成し、得られたモデルをメディアンプフィルタによって平滑化している。DSM から DTM を差し引くことにより地表面の影響を除去した 3 次元植物高モデル DCHM から植物高を求めている。この DCHM を、 1cm^3 のボクセルを単位とする 3 次元ボクセルモデルに変換し、葉面積を推定している。比較のために、同じ範囲を対象とした 2 次元カラー画像による葉面積の推定も行っている。精度検証の結果、3 次元モデルから求めた植物高の RMSE が 3.3 cm、葉面積の RMSE が $1237\text{cm}^2\text{m}^{-2}$ であったことを報告している。これは、2 次元モデルから得た葉面積よりも高い精度を有しており、3 次元モデルでは葉と葉の重なりによる情報の欠落が少ないためとの考察が述べられている。また、3 次元モデルから推定された葉面積との相関をとることで、地上部乾物重の推定を行ったところ、RMSE が 86.1g m^{-2} と、これまでの報告よりも高い精度での推定結果が得られたことが報告されている。上記結果から、本方法をどの生育ステージで適用するとより精度の高い生育パラメータが得られるのか考察がなされ、望ましい測定時期と測定条件の提案がなされている。

以上、本研究の結果に基づいて、植物群落を対象とした UAV-SfM 3 次元画像からの植物生育パラメータ推定において、3 次元画像処理法が提案され、その精度検証を通じ、推定精度が明らかとなり、精度向上のための知見が与えられている。将来的に本方法は、植物生育モニタリングに加え、植物表現型測定を必要とする育種の分野などにも適用可能と考えられ、適用可能領域は広く、学術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。