



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Agricultural Remote Sensing by Multiple Sensors Mounted on an Unmanned Aerial Vehicle [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	杜, 蒙蒙
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第13156号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/70142
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Du_Mengmeng_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（農学）

氏 名 杜 蒙蒙

審査担当者

主 査 教 授	野口 伸
副 査 教 授	平野 高司
副 査 准教授	石井 一暢
副 査 准教授	岡本 博史

学 位 論 文 題 名

Agricultural Remote Sensing by Multiple Sensors Mounted
on an Unmanned Aerial Vehicle

(無人飛行機に搭載した複数センサによる農業リモートセンシング)

本論文は、全 6 章からなる総頁数 148 ページの英文論文である。論文には図 97、表 23、引用文献 112 が含まれ、別に参考論文 3 編が添えられている。

リモートセンシングはスマート農業を実践するうえで不可欠な技術要素である。リモートセンシングによって農地や作物に関する空間情報を収集でき、その空間変動特性を明らかにすることができる。特に低層リモートセンシングのプラットフォームとして近年無人飛行機 (Unmanned aerial vehicle ; UAV) が注目されている。これは UAV が低価格、高効率、安定性の高い飛行特性そして高い安全性を有していることに起因している。本研究はこの UAV を活用した低層リモートセンシング技術の開発を目的とした。秋まき小麦を対象に、「①農地の地形 3 次元地図化」、「②小麦初期生育時の苗立密度の地図化と可変追肥技術開発」、「③UAV による低層リモートセンシングと衛星リモートセンシング統合化および小麦収量の圃場内空間変動の可視化」を行った。

①の農地地形の 3 次元地図化では UAV にレーザー距離計を搭載して地形測量システムを開発した。UAV には高精度測位が可能な後処理型キネマティック GPS (Post-processed kinematic GPS; PPK-GPS) を供試し、静的状態でレーザー距離計は誤差 1cm、PPK-GPS は水平方向 1cm、垂直方向 2cm の誤差で計測できることを確認し、起伏を含む農地の地形測量を行った。試験の結果、3.5cm の RMS 誤差で農地測量できることを明らかにした。他方、農地地形を面的に細密に記述するうえで空間補完法の導入が必要になるが、本論文では 5 種類の空間補完法を供試して、最も精度よく地形を記述できる補完法が TIN 法 (Triangulated irregular network) であることを明らかにした。TIM 法による 3 次元マップの誤差をリアルタイムキネマティック GPS (Real-time kinematic GPS; RTK-GPS) を用いて評価した結果、13.7cm であった。さらに、数値表層モデル (Digital surface model; DSM) と統合することで、誤差を 5.9 cm まで低減させることができた。こ

の測量誤差は畑地帯の勾配修正や褶曲修正に十分に使用できる精度であり、低コストかつ効率的に情報化施工可能な測量精度である。

②の小麦初期生育時の苗立密度の地図化と可変追肥技術については、R-G-NIRのマルチスペクトルカメラを UAV に搭載し、高分解能でマルチスペクトル画像が取得できるシステムを開発した。正規化植生指数(Normalized difference vegetation index;NDVI)の画像から最適なしきい値で 2 値化して計算された投影植被率が小麦の苗立密度と高い相関があることを明らかにした。モデルは決定係数が 0.95 であり、RMS 誤差は 24 本/m²であった。125 か所について 2 値画像から投影植被率を介して苗立密度を回帰モデルから算出し、補完法を導入して小麦圃場全面の苗立密度マップを作成した。この苗立密度マップは窒素可変施肥に適用できる。

③の UAV による低層リモートセンシングと衛星リモートセンシングの統合化では RGB カメラを UAV に搭載して、小麦圃場を 8 回撮影してモザイク画像を作成した。UAV による低層リモートセンシングでは高頻度に空間情報を収集できるので、収穫 10 日前には倒伏マップを作成できた。また、UAV 画像と衛星画像の関連を調査した。小麦の初期生育期間の UAV 画像から計算した可視領域植生指数 (Visible-Band difference vegetation index;VDVI) と衛星画像から算出した NDVI の間に高い相関が認められ、回帰モデルは決定係数が 0.62、RMS 誤差は 0.019 であった。ここで得られた衛星画像と UAV 画像の統合化が可能であるという結論は、衛星画像の大気補正や曇天、雨天時に衛星画像が取得できない場合に UAV によるセンシングが衛星画像の補完手段になることを意味し、その効果は大きい。さらに同一のリモートセンシングプラットフォームを用いて小麦収量推定モデルの構築を行った。ステップワイズ法による重回帰分析を行うことで、決定係数が 0.94、RMS 誤差は 0.02kg/m² の高精度なモデルが生成できた。交差検証を行った結果、RMS 誤差は 0.06kg/m²であった。実際に圃場全面における収量推定マップを作成した結果、圃場内の収量のばらつきを可視化でき、開発したリモートセンシングシステムは小麦の収量推定に使用できると判定された。結果として秋まき小麦を対象にして UAV をプラットフォームとして開発された低層リモートセンシングシステムは、スマート農業やロボット農機のスマート化に対して有用であると結論づけられた。

以上のように、本研究では UAV をプラットフォームとした農業用リモートセンシングシステムを研究開発した。近年、UAV の農業利用は国際的に注目されており、欧米を中心に研究開発が活発である。しかし、技術的にはいまだ発展途上で実用可能な技術はまだ数少ない。本研究では圃場試験と精緻な解析により、実用に耐えられる UAV を使用した農業リモートセンシングシステムを開発した。レーザー距離計と PPK-GPS により地形測量、マルチスペクトルカメラによる苗立密度計測、RGB カメラを用いた収量推定とともに衛星画像との統合化を可能にした。すなわち、本研究の成果は高い学術的価値、オリジナリティとともに社会的貢献も大きいと評価できる。よって審査員一同は、杜 蒙蒙が博士(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。