

学位論文の要旨(論文の内容の要旨)  
Summary of the Dissertation (Summary of Dissertation Contents)

論文題目 放牧地の効率的な雑草管理に向けた無人航空機の活用  
Dissertation title

広島大学大学院国際協力研究科  
Graduate School for International Development and Cooperation,  
Hiroshima University  
博士課程後期 開発科学専攻  
Doctoral Program Division of Development Science  
学生番号 D141163  
Student ID No.  
氏名 弓場 憲生  
Name Seal

現在、日本の畜産業は、従事者の高齢化や輸入乳製品の攻勢に押されて大変に厳しい経営状況に置かれている。このため本研究は、畜産業の作業の効率化や省力化を進めていく具体策の一例として、牧草地の雑草駆除作業の効率化を目指した。これまでは、広大な牧草地のどこにどれだけの雑草が侵入しているかを歩いて調査していた。そのため正確、迅速な調査は困難であり、やむなく勘と経験に頼る方法で行われていた。そこで日本全国に生育し、繁殖力や生命力が強く、駆除の困難な雑草であるチカラシバを対象に、市販の小型 UAV を使って牧草地のチカラシバ分布図の作成を試みた。

チカラシバは、初夏の出穂期にブラシ状の穂を付ける。その種は動物の毛などに付着して運ばれ、牧草地全体に広まる。そして牛が草を食べる際に、固いブラシ状の穂で目を突く、種子が耳に入る、毛に付着して奥に入り込んだものは皮膚炎を起こすなど、多様なトラブルが発生している。そのため過去 30 年間にわたり、駆除や飼料化の試みがなされてきた。

牧草地の管理やモニタリングのために、これまでも人工衛星や航空機によるリモートセンシングが行われてきた。しかし人工衛星によるリモートセンシングは、空間解像度や観測頻度が低いうえ天候の影響を受けやすいため、雨の多い我が国では雲に遮られて地上が見えないことも多い。また撮影されたデータの入手に時間がかかるなど多くの欠点があるため、牧草地の管理のために使うには適当ではないという報告もある。

これらの問題点の解決のため、これまで気球や無人航空機(以下 UAV)による低高度リモートセンシングも行われてきた。

本論文の構成を以下に示す。

第1章 緒論

第2章 UAV を活用したチカラシバの検出(調査1)

第3章 機械学習によるチカラシバ検出手法の高度化(調査2)

第4章 総合考察

チカラシバの穂は黒色のため、出穂期の牧草地の UAV 空撮画像でチカラシバを観察すると、他の植物とは明らかに異なる黒みがかった濃緑色に見えるという特徴がある。これを分類の手がかりとして、チカラシバの出穂期に 20 m 四方の2つの調査区(プロット A およびプロット B)を設定し、撮影高度を 4 段階(28, 56, 82, 114 m)に変えて UAV で空撮した。その画像を SfM (Structure from Motion) ソフトウェアで処理し、オルソ画像化した。この画像を電算処理し、チカラシバの株数を計数した。その精度を検証するため、調査区内のチカラシバの株数を地上調査により計数した。

調査1では、従来のピクセルベースのリモートセンシングでの解析を行った。解析には、3段階(28, 56, 82 m)の高度から UAV で空撮した画像を用いた。画像内のノイズ除去のために、 $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,

7 × 7, 9 × 9, 11 × 11, 13 × 13, 15 × 15 の 7 種類のサイズのメディアンフィルタを適用し、閾値を設定してチカラシバを分類した。その後、チカラシバの群落を島ポリゴンに分割して株数を求めた。その結果、高度 56m の空撮画像を用い、7 × 7 サイズのフィルタで処理したものが最も良好な結果であった。この時のチカラシバの分類精度は 80.3% であった。

この手法はリモートセンシングの処理において長年行われてきたもので、手順は完成されているため処理は比較的、容易である。しかし簡易法ではあるものの、8 割を超す実用的な精度が得られた。

高度 28 m で撮影された画像は、高度 56 m で撮影された画像よりも解像度が高い。しかし高度 56 m の画像で良い結果が得られたことから、過去の同様の研究結果においても報告されているように、必ずしも高解像度画像の使用が良好な結果をもたらすものではない事が示唆された。また高度 56m からの画像は、高度 28m の画像よりも広範囲が撮影できるため、UAV の作業効率の点からも有利であると考えられた。

調査 2 では、更なる解析精度の向上を目指し、オブジェクトベースのセグメント分類(object-based image analysis = OBIA)と機械学習(Random Forest = RF)による画像分類を組み合わせて、チカラシバの分類を行った。この処理に使用した画像の空撮高度は、28, 56, 82, 114 m の 4 段階である。

処理の過程で、RGB と HSV の 2 通りの色空間による画像を作成し分類した。その結果、飛行高度 28m の画像を HSV 変換して処理したものの OBB 精度(最高値は 1)は、プロット A で 0.946 であり、プロット B で 0.992 という大変、高精度なものであった。

調査 2 で行った処理は、調査 1 で行った処理に比べるとやや複雑な手順を必要とするが、精度 100%に近い高精度な分類ができた。RF 分類に用いた各種の入力値について検討したところ、RGB 画像では緑色の情報を示す G バンドの寄与率が高かった。そして HSV 画像では、色の明暗を示す V バンドにおいて高い寄与率を示していた。これらはどちらの画像においても、初夏のチカラシバの穂が黒色である事に由来しているためであると考えられた。

現段階では、OBIA や RF による画像処理手法はまだ発展段階のため、本研究では、各所の解析用途別に開発された数種のソフトウェアを組み合わせることで処理を行った。そのため処理には、やや煩雑な手順を必要とするが、今後はこれらを統合した専用ソフトの開発により、簡単な操作で同様の処理が可能となるものと考えられる。

本研究では、調査 1, 調査 2 とともに UAV の操縦を手動で行った。実験を行った当時は手動による操縦しかできなかったが、現在の UAV では、あらかじめ設定した飛行ルートに従って正確に自動飛行する機能が備わっている。この機能を使えば、手動で操縦するよりも効率的にかつ精度良く空撮が可能になるため、広域の空撮する際の省力化や時間短縮につながる。

本研究では、チカラシバの季節変化に着目して分類を行ったが、他の雑草でも同様に、季節に応じて見られるその草種に特有な変化に着目し、時期を逃さずに UAV 空撮を行えば、数 ha の広範囲に及ぶ、各種雑草の正確な分類と分布の解析と図化を、一人で迅速かつ省力的に行えるようになると思われる。

この情報を、現在開発が進んでいる GPS トラクタと組み合わせると、早春期の雑草の旺盛な初期成育ステージにおいて、優先順位に従って無人で自動巡回しながら、必要箇所のみをパッチ状に耕耘して駆除できるため、時間や燃料などの経費の節約が可能となる。

また UAV 空撮画像を SfM で処理する事により、DSM(Digital Surface Model)と呼ばれる地表面の高さ情報が取得できるため、牧草の草高による成育不良個所の特定も行える。このデータを使い、GPS トラクタで成育不良個所のみを追肥を行えば、無駄のない最少量の肥料で牧草の収量増加も見込める。

UAV は低価格化とともに高性能化が進んでいるため、輸送や農薬散布など、多方面への利用が期待されている。しかしこれらの用途への利用は、機体の大型化をもたらす、イニシャルやランニングコストを増大させ、さらに安全性も低下させる。そのため UAV は、小型機でも実施が可能な空撮用途に使用して、写真画像から情報を得る使い方が経済的に優れた利用方法であると考えられる。

備考 論文の要旨は A4 判用紙を使用し、4,000 字以内とする。ただし、英文の場合は 1,500 語以内とする。  
Remark: The summary of the dissertation should be written on A4-size pages and should not exceed 4,000 Japanese characters. When written in English, it should not exceed 1,500 words.