

令和元年6月10日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00658

研究課題名(和文) ドローンを使ったおいしい牧草生成のための施肥システムの構築

研究課題名(英文) Unmanned Aerial Vehicle for fertilizer management to adjust future fertilizer application rates

研究代表者

松村 寛一郎 (MATSUMURA, Kanichiro)

東京農業大学・生物産業学部・教授

研究者番号：10333551

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：酪農経営に対するドローンの適用可能性を探るために、農薬や肥料の可変散布の可能性および急峻な放牧地におけるドローンを用いた肥料散布の可能性を検討した。可変散布により、農薬や肥料代の削減につながり、施肥の過不足を示す空間データの活用により、酪農家の労働コスト・経営コストの削減、余剰肥料の地域環境への負荷低減など、多面的な活用のための基礎データとしての利用可能性を検討した。衛星リモートセンシングの利用も同時に進められた。リモートセンシングには、曇り空の場合には、植生データを含む地表面のデータを取得できないことが問題点として挙げられてきたために、固定翼機材を用いた地表面観測の可能性についても検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

少人数で農地状況を効率的にモニタリングする仕組みを構築した。オホーツクにある酪農家の全面的な協力を得て、牧草地について回転翼・固定翼ドローンおよび人工衛星データによる植生指数データを取得・蓄積し、解析を進めてきた。得られた観測結果は、持続可能な牧草地の在り方を検討する上で、重要な知見となった。衛星画像データ(米国のスタンフォード大学発祥のベンチャー企業によるプラネット衛星画像データ)は、3メートルの空間解像度で毎日取得できるが2018年6月は曇天日が多く、衛星画像データの取得が困難であった。オルソ化された画像と衛星データを取得・蓄積してその比較を行った。

研究成果の概要(英文)：Over-fertilizing has negative effects on water quality and affects the animals and people who use it. The researcher conducted experiments aimed at reducing fertilizer consumption. The analysis of two different images taken before and after the harvest period clearly shows a highlighted portion of the test area that might be over-fertilized. UAVs equipped with cameras using both the RGB portion of the visible light spectrum and the near infrared portion of the electromagnetic spectrum (780nm to 2500nm) take Blue Normalized Difference Vegetation Index (BNDVI: Blue band is near infrared portion in this research) images. Comparing the images can detect possible over-fertilized areas. This data can then be used to adjust future fertilizer application rates. Experiments conducted in 2017 and 2018 and upcoming experiments in 2019 are discussed. Adjusting the analysis for BNDVI intensity and comparing UAV sourced images with satellite remote sensing data began in 2018.

研究分野：地理情報システム、農業気象、農業ICT

キーワード：地理情報システム 植生指数 オルソ化 リモートセンシング 可変施肥

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

北海道の道東地域のオホーツク海に面した地域は、強風や日照条件などの気象条件が厳しいこともあり、畑作には適していない地域も多く、酪農地帯として発展してきた。大規模化が進んでいるが、規模拡大には限界があり、できるところからの効率化が求められている。

2. 研究の目的

慢性的な人手不足と経営環境の変化に対応するためにドローンの活用が期待されている。研究チームは、酪農経営に対するドローンの適用可能性を探るために、農薬や肥料の可変散布の可能性および急峻な放牧地におけるドローンを用いた肥料散布の可能性を検討した。施肥の過不足を示す空間データの活用により、酪農家の労働コスト・経営コストの削減、余剰肥料の地域環境への負荷低減など、多面的な活用のための基礎データとしての利用が期待できる。同時に衛星リモートセンシングの利用も進めた。衛星リモートセンシングの場合、運用コストは固定費であるために、利用者の増加に伴って運用すればするほど収益に繋がるメリットがある。リモートセンシングには、曇り空の場合には、植生データを含む地表面のデータを取得できないことが問題点として挙げられてきたために、固定翼機材を用いた地表面観測の可能性についても検討した。

3. 研究の方法

北海道の道東地域の網走市平和の能取湖を望む牧草地の一部(500m×500m)にて研究を遂行した。牧草地を借りている酪農家と酪農家に牧草地を貸し出している方の全面的な協力を得て実験を遂行している。収穫されたサイロの成分分析結果についても入手できた。牧草の収穫から牛への経口摂取までの一連の流れを把握できる仕組みを構築できた。DJI社のファントム3シリーズの可視光カメラに、シュートテック社の協力を得て、米国のIR-Pro社が開発した近赤外レンズを架装した。Blue系のレンズを使用するためにBNDVIと定義する。ミッションプランナーソフトを使って飛行経路を設定し、その情報をライチ(自動航行アプリ)のミッションハブにアップロードする。タブレットマシンにミッションハブから飛行経路をダウンロードすることで、タブレット経由でのドローンの自動飛行が可能となった。ミッションプランナーの機能であるサーベイレッド機能を使うことで、写真を連続で撮影する際の重なり具合(オーバーラップ率)、一定の間隔の飛行経路の設定が可能となる。上空から重なりを持つ連続写真から同一地点を三次元空間で合成し、これらの連続写真をより高い地点から撮影されたように空間補正し、画像をデータ化したものがオルソ化と定義される。ドローンの特性を活かしてより低空で撮影した連続写真から数cmの精度で標高地図を得ることができることを確認した。撮影した連続写真からPhotoScanソフトを用いて画像結合(オルソ化)し、牧草地において数cm精度の可視画像、近赤外画像、標高地図を得る手法を習得した。

4. 研究成果

(1) 衛星画像データの利用

2017年に元(株)IHIの関係者により帯広市に創立されたスペースアグリ社は、プラネット社が撮影した翌日に衛星画像データを提供している。同社の協力により可視光および近赤外光によって算出された植生指数を対象地域において2017年から入手している。雲の影響が無ければ、毎日取得することができる。スペースアグリ社の協力を得て、プラネット社が提供する分解能約3mの午前9時30分における可視画像と植生指数画像を入手した。UAVに比べて衛星画像は雲の影響を受けやすい。

(2) データ解析(2017年度)

年に3回ある刈取り時期を挟む時期を考慮して、定期的にファントム3をミッションプランナーソフトを用いて自動飛行経路を設定し、牧草地の上空を自動飛行させた。一定の時間間隔(約5秒)で可視画像と近赤外画像を撮影しデータベース化した。得られたデータに対してPhotoScanソフトを用いて合成し、標高データと複数時期のオルソ化された広域データを作成した。対象とする牧草地は年に2~3回、刈取られる。1番草の刈取り前後の植生指数と2番草の刈取り前後の植生指数を組み合わせることで牧草地の成長の過不足を空間的に把握できる可能性を提案した。1番草と2番草の刈取り時期前後の近赤外画像の差を地理情報ソフトのラスター演算機能を用いて、プラスを数字の1、マイナスを数字の0と設定した。6月14日から5月17日のBNDVIを引いたものは、刈取り時期を含んでいないために、生長が見られるために全体的にプラス、すなわち黒が目立つ様子が示されている。7月13日から6月14日のBNDVIを引いたものは、6月17日に収穫がなされたために、全般的にマイナス、すなわち白が目立つ様子が示された。8月17日から7月13日のBNDVIを引いたものは、8月3日の刈取り時期を含んでいるために、全体的にマイナス、すなわち白が目立つ様子が示された。9月19日から8月17日のBNDVIを引いたものは、収穫がされていないために、全般的にプラス、すなわち黒が目立つ様子が示されている。刈取り時期の前後で植生指数が増加している部分を抽出した。1番草および2番草の刈取り期間を挟みながら生長がみられる牧草地の複数地点において施肥が過重である可能性が示された。しかしながら、牧草地の施肥状況を広域的に把握する手法は緒に就いたばかりであり、過剰施肥の検出に関する知見が不足している。2017年度の場合は、単純に

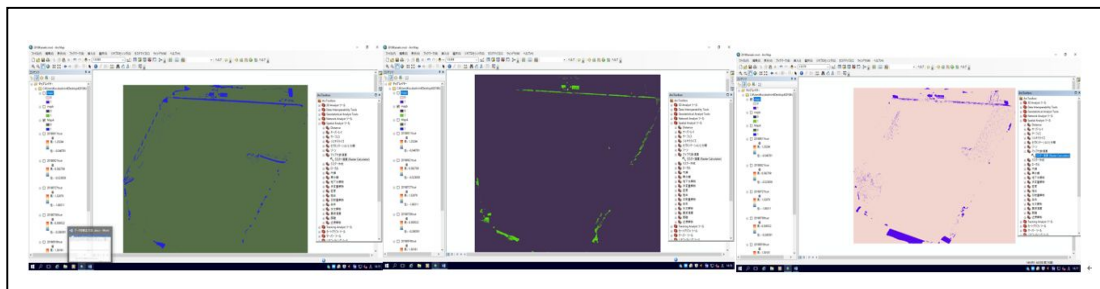
ドローンにより撮影された植生指数を比較しているために、データの補正問題、BNDVI 値が実際の植生指数とどの程度整合性が取れているかの検証が課題として残された。

(3) データ解析 (2018 年度)

植生指数を正確に計測するために、農家で幅広く使われている Nikon Trimble 社が提供する赤色・近赤外光センサーを搭載したハンドヘルドセンサー (Green Seeker) を用いて、牧草地の対象地点の一部において植生指数を測定した。トリガーをひくと赤外線を照射して、その反射で測定するので、天候の影響を受けないとされている。2018 年度から観測毎に白板を設置した。白板を含むオルソ化された植生指数情報を 0 として発射台の調整を行った。さらに UAV に搭載されたカメラにより撮影されたハンドヘルドセンサーの示す植生指数には、位置情報が含まれている。オルソ化された植生指数上にポイントデータを展開した。ハンドヘルドセンサーが示す値と比較し、得られた調整係数をドローンにより連続撮影から生成されたオルソ画像に適用することで、ハンドヘルドセンサーが示す植生指数値を正しいものとして、牧草地全体の調整された BNDVI を求めることができた。ハンドヘルドセンサーにより撮影された NDVI 値とその位置情報を UAV に搭載されたカメラに記録された位置情報を用いる。牧草の生長に伴い、BNDVI 値が増加するが、牧草地の刈取りによる BNDVI 値が減少する様子も示されている。オルソ化された画像上にハンドヘルドセンサーの位置情報を展開し、オルソ画像による BNDVI 値とハンドヘルドセンサーによる NDVI 値の比率を調整係数とした。刈取りカレンダーに基づいて 1 回目の刈取りを挟む 6 月 11 日と 6 月 21 日、2 回目の刈取りを挟む 7 月 27 日と 7 月 30 日、3 回目の刈取りを挟む 9 月 18 日と 9 月 20 日のデータを解析対象とする。2018 年度のデータ解析においては、データの補正を行った。2018 年 6 月 11 日のデータ解析を例として紹介する。合成された画像上での白色板の位置に相当する植生指数値は、本来は 0 になるが、今回の場合、-0.064718 を示している。UAV に搭載されたカメラでハンドヘルドセンサーを撮影した画像がこの場合 2 か所あり、それぞれ 0.77(ハンドヘルド)に対して 0.657754 (オルソ) 0.79 (ハンドヘルド) に対して 0.538462(オルソ)を示した。白色板による調整値 0.064718 をオルソ化の数値にそれぞれ加える。以下の計算式に基づいて白色板調整とハンドヘルドセンサーとの比較値を用いて真の植生指数がもとめられた。

(合成画像(調整済み) + 白色板調整値) × (ハンドヘルドセンサー平均値) / (合成画像調整済平均値)

ArcGIS のラスタ演算機能を用いて、修正された牧草地の植生指数値に対して 6 月 21 日から 6 月 10 日を引いたもの (Map A)、7 月 30 日から 7 月 27 日を空間的に引いたもの (Map B)、920 から 918 を空間的に引いたもの (Map C) をそれぞれ計算し、いずれも刈取り前の BNDVI 値が刈取り後よりも空間全体にわたり高いことが確認された。



図表 1. Map A (左) Map B (中) Map C (右)

2017 年度の場合は、単純にドローンにより撮影された植生指数を比較しているが、2018 年度はアクティブに波長を発するハンドヘルドセンサーの値を正しいものとして、白色板も用いてデータを修正したことで、より正確に植生指数が取得できるようになったと思われる。

(4) プラネット社の衛星画像データによる解析

スペースアグリ社の協力を得てプラネット社の衛星画像データを定期的に入手した。刈取り前後の植生指数の変化を UAV による解析と同じ手法により求めた。刈取りカレンダーに基づいて 1 回目の刈取り (6 月 18 日) を挟む 6 月 10 日と 6 月 30 日 (6 月は雲の日が多い)、2 回目の刈取り (7 月 28~29 日) を挟む 7 月 27 日と 7 月 31 日、3 回目の刈取り (9 月 19 日) を挟む 9 月 18 日と 9 月 20 日のデータを解析対象とした。1 回目と 2 回目の刈取り前後の植生指数の差は、2 回目の植生指数値が 1 回目の刈取り前後よりも高い値を示している。2 回目と 3 回目の刈取り前後の植生指数の差は、まだら模様を示した。UAV を使って取得されたデータを地上の白色板とハンドヘルドセンサーを使って修正をかけることで、植生指数データを時系列的に比較することが可能である。しかしながら、プラネット社の衛星画像データの場合は、時系列的に比較する際には、UAV により取得されたデータの修正と同じことをする必要がある。今回の比較を通じて、UAV により取得されたデータとプラネット社の衛星画像データを組み合わせることで、より広い範囲への適用の可能性が示された。

(5) まとめ

北海道内の地方における農業人口減少は著しく、少人数で農地状況を効率的にモニタリングする仕組みの構築が重要である。研究チームは、牧草地について回転翼・固定翼ドローンおよび人工衛星データによる植生指数データを取得・蓄積し、解析を進めてきた。衛星画像データは、米国のスタンフォード大学発祥のベンチャー企業が打ち上げたプラネット社の衛星画像データをスペースアグリ社の協力により情報提供を受けた。このデータは、分解能約3mの午前9時30分における可視画像と植物の活動強度を示す植生指数のデータであり、雲によって地上観測画像が影響を受ける。特に、2018年6月は曇天日が多く、衛星画像データの取得が困難であった。人工衛星画像データとドローンにより取得されたデータを統合して解析することで、肥料散布へ適用する際の具体的な手順を構築することができた。衛星画像データの場合は、固定費のみであり、変動費部分がない。ドローンの場合は、対象面積が広がることで必要な機材数も増加して変動費の増加要因につながる。ドローンの効率化を図るために固定翼機材を中心に運用する。深刻な人手不足に悩む日本の生産現場に対する効率化が期待できる。牧草地等の植生を対象とし、UAV、人工衛星、さらに最新のKLAU PPKシステムを総合的に駆使して植生量およびその生長量を把握できると考えている。KLAU PPKシステムを用いると正確な高さ計測が可能となるため、従来の平面的な植生把握に止まらず、立体的な3次元植生評価やその生長量を把握できる結果、情報量が飛躍的に増大し、省力的かつ効果的な植生管理が可能となる。農業データ連携基盤(WAGRI)との連携も検討する。将来的には、地球温暖化緩和策に繋がる植生管理システムへのシーズ発掘の可能性も視野に入れている。水平方向の情報に加えて、鉛直方向の情報を組み合わせることで、牧草地を立体的に把握することが可能になると考えた。水平方向のみの情報であれば、牧草が生長していると推定される場所は、植生指数の強度で推測することになるが、強度が必ずしも生長量を反映しているとはいえない可能性がある。しかしながら、鉛直方向の牧草地の情報があれば、刈取り直後の情報と組み合わせることで、空間的に牧草が生長している地点を把握できる。水平方向の情報に加えて、鉛直方向の情報を組み合わせることで、牧草地を立体的に把握することが可能になると考えた。水平方向のみの情報であれば、牧草が生長していると推定される場所は、植生指数の強度で推測することになるが、強度が必ずしも生長量を反映しているとはいえない可能性がある。しかしながら、鉛直方向の牧草地の情報があれば、刈取り直後の情報と組み合わせることで、空間的に牧草が生長している地点を把握できると考えている。

謝辞

研究の遂行にあたりドローンでの自動飛行等の方法について懇切丁寧にご指導いただいた京都大学の渡辺一生先生に感謝いたします。また牧草地を提供いただいた岩本牧場の関係者、牧草に関する情報を提供いただいた旧原田牧場の関係者の皆様に感謝いたします。衛星画像データをGUIベースで提供いただいているスペースアグリ社の瀬下社長、肥料散布用ドローンの実際の運用に関してご協力をいただいている網走リースの佐々木専務に感謝いたします。国際ワークショップ等でお世話になっている北海道大学のRam先生、マレーシアからのJICA研修生のStanley氏に感謝いたします。

<参考文献>

- GreenSeeker handheld crop sensor, <https://agriculture.trimble.com/precision-ag/products/greenseeker/>, accessed 2019, Feb the 26th.
- Planet Company Ltd., (2018): <https://www.planet.com/>, accessed 2019, Jan 3rd.
- SpaceAgri Company Ltd., (2018): <https://www.space-agri.com/>, accessed 2019, Jan 3rd.
- Inoue, H, S. Uchiyama and H. Suzuki (2014): Multicopter Aerial Photography for Natural Disaster Research, NIED Research Report.
- GIS Geography, What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/>, Accessed 2019, Feb, 18
- Sequoia, <https://www.parrot.com/jp/ye-wu-yong-soriyusiyon/parrot-sequoia#parrot-sequoia->, Accessed 2019, Mar, 10
- Real Time Kinematic, (2019): <https://www.dji.com/jp/phantom-4-rtk>, Accessed 2019, Apr, 5
- MG-1 drone, (2019): <https://www.dji.com/jp/mg-1s>, Accessed 2019, Mar, 31

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

Editor Ram Avtar, Teiji Watanabe, Unmanned Aerial Vehicle: Applications in Agriculture and Environment, Unmanned Aerial Vehicle for fertilizer management on grassland, Hokkaido Japan, Springer, 査読有 (2019)

松村寛一郎、井上聡、衛星画像データと UAV により取得されたデータのベストミックス、

アグリバイオ 7月号、vol.3 No.7 pp.46-48 査読無(2019)

Kanichiro MATSUMURA, Stanley Anak Suab, Ram Avtar, Preparing a handmade fixed wing UAV for drift ice observation, Proceedings of The 34th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans, pp.39-42 査読無(2019)

Matsumura, K., Inoue, S.: Unmanned Aerial Vehicle for fertilizer management and human health. Medical Research Archives, 6(4), pp.1-7 査読有(2018)

松村寛一郎, ドローンを活用した研究 (農業や漁業の現場での活用)

グリーンテクノ情報, vol.13 No.3 pp.6-10 査読無(2017)

Matsumura, K. Preparing an UAV for drift ice observation, Okhotsk Sea and Polar Oceans Research, 1, pp.12-15 査読有(2017)

松村寛一郎、伊藤博武、美土路知之、オホーツク地域における畑作 4 品目作柄指標予測アルゴリズムの開発 ~ドローンを使った畑管理の検証~、東京農業大学寒冷地農場年報トウフツ第 19 号、pp.41-49 査読無(2016)

〔学会発表〕(計 4 件)

Ram Avtar, Stanley Anak Suab, Kanichiro Matsumura, Satoshi Inoue, UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) APPLICATIONS IN PRECISION AGRICULTURE, IGARSS-2019 (Yokohama, Japan), 2019

Ram Avtar, Kanichiro Matsumura, Satoshi Inoue, Application of UAVs for land development projects. Institute of Industrial Science (IIS) Forum,(University of Tokyo)Japan, 2018

松村寛一郎、「UAV の農業と漁業の利用」、システム農学会 2017 年度秋季シンポジウム、2017 Kanichiro Matsumura, Applying a drone observation along Sakhalin to Sea of Okhotsk Russia-Japan Workshop on Arctic Research 2017 (Moscow, Russia), 2017

〔その他〕

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名： 井上 聡

ローマ字氏名： INOUE , Satoshi

所属研究機関名：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

部局名：北海道農業研究センター

職名：上級研究員

研究者番号(8桁): 20354011

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。