

# 北海道における草地のリモートセンシング技術の現状と今後の展望

## 1. はじめに

人工衛星やドローンによって撮影された画像を解析して、草地の状況や生育状況などを診断するリモートセンシングは、北海道の酪農においても身近なものになりつつあります。この技術は日進月歩で進展していることもあり、「リモートセンシングから何がわかり、何がわからないのか?」ということについては、あまり広く知られていません。現在、私たちの研究チームでは、北海道立総合研究機構重点研究「衛星画像による大規模草地の植生判別法の開発 (2023-2025年)」という試験研究を実施中で、次なる展開が見通せる成果が出てきたところです。そこで、本稿では、「リモートセンシングで北海道の草地の何がわかるのか、何に役立つことが期待できるか?」について、私たちが試験研究で挑戦している内容に触れつつ、紹介したいと思います。

## 2. リモートセンシング技術の過去と現在

北海道の草地を対象としたリモートセンシング研究の歴史は古く、1960年代から実利用を前提とする

研究が取り組まれています。1970年代には、光学センサーを搭載した人工衛星Landsatの農業利用が検討され、特に北海道の草地や畑作地帯では、農地が狭い・雲が多いなどの制約が比較的少なく、日本国内で先んじて研究が着手されました。その後、1990年代には水稲や畑作物について、生産者レベルでの実利用も始まりました。2010年代になるとドローンの普及がすすみ、ドローンを用いた研究・技術開発が、今もなお世界中で取り組まれています。本項では、衛星とドローンに分けて技術の進展を整理し、私たちが挑戦しているドローンと衛星を組み合わせた試みについて紹介します。

### (1) 衛星による草地リモートセンシング

牧野 (2010)<sup>1)</sup>は、草地を対象とした衛星リモートセンシング研究で検討されたこととして、草地の判別 (草地か? 畑地か?)、牧草収量の推定、草種判別、草種構成割合推定、利用形態 (採草地か? 放牧地か?) の判別、1 番草刈取り時期の把握、草地更新状況の把握、草地湿潤性の評価、牧草の越冬状態評価について、当時の研究開発の取り組みや、想定される活用場面と合わせて紹介しています (表 1)。このうち、草種判別、草種構成割合推定につ

表 1 衛星による草地リモートセンシングの利用可能性

成否*	対象	入力データ	引用	備考
△	草地の判別	Landsat-5/7 (30m分解能)	牧野ら (2006a) <sup>2)</sup>	草地地帯のみ
△	牧草収量の推定	Landsat-5/7 (30m分解能)、6月上旬	〃	時期限定
△	〃	Spot 5 (10m分解能)、6月上旬	牧野ら (2006b) <sup>3)</sup>	〃
×	草種判別・構成割合推定	Landsat-7 (30m分解能) およびSpot 5 (10m分解能)	未発表	
○	利用形態の判別	Landsat-5/7 (30m分解能)	美濃ら (1998) <sup>4)</sup>	
○	1 番草刈取り時期の把握	Landsat-5/7 (30m分解能)	〃	
○	草地更新状況の把握	Landsat-5/7 (30m分解能)	美濃ら (1996) <sup>5)</sup>	
○	草地湿潤性評価	Landsat-5/7 (30m分解能)	牧野ら (2006a) <sup>2)</sup>	
○	牧草の越冬状態評価	Landsat-5/7 (30m分解能)	〃	
△	植生分類 (チモシー・リードカナリーグラス・シバムギ)	QuickBird (青・緑・赤・近赤外、パンシャープン、0.6m分解能)	牧野 (2019) <sup>6)</sup>	2 時期
○	採草地のママ科率	航空機観測ハイパースペクトルデータ	牧野 (2019) <sup>6)</sup>	

\* ○: 成功、△: 条件付きで成功、×: 失敗

表2 ドローンによる草地/飼料作物のリモートセンシングの利用可能性

対象	引用
草量推定	Fanら (2018) <sup>8)</sup> ; Geipelら (2021) <sup>9)</sup> ; Karilaら (2022) <sup>10)</sup> ; Bazzoら (2023) <sup>11)</sup>
葉面積指数 (LAI)	Fanら (2018) <sup>8)</sup>
飼料成分	Wijesinghara (2020) <sup>12)</sup> ; Geipelら (2021) <sup>9)</sup> ; Karilaら (2022) <sup>10)</sup>
マメ科率推定	Fujiwaraら (2022) <sup>13)</sup>
植生判別	安田 (2018) <sup>14)</sup> , 2022 <sup>15)</sup>
雑草検出	Lamら (2020) <sup>16)</sup> ; Yubaら (2021) <sup>17)</sup> ; Yoshitoshiら (2024) <sup>18)</sup>
病害虫検出	黄川田ら (2020) <sup>19)</sup>

いては、技術確立が困難であったことが記載されています。その後の研究において、(1)6月と11月の高分解能(0.6m分解能)の光学衛星画像から、チモシー/リードカナリーグラス/シバムギの判別ができたこと、(2)航空機観測ハイパースペクトルデータ(光分解能の高い光学センサーによる撮影)によってマメ科牧草の割合を推定できたことを報告しています<sup>7)</sup>。草種判別では空間分解能(画像解像度)を高め、草種構成割合推定では光(測定波長)の解像度を高めることで、これまでに困難であった推定を試みた取り組みと言えます(無償で入手できる中分解能の衛星画像がありますので、それに比べると、モニタリングにかかるコストも高くなってしまいました)。

(2) ドローンによる草地リモートセンシング

ドローンの性能の進歩と普及は近年著しく、草地研究においても多くの魅力的な研究成果が報告されています(表2)。例えば、草量推定、植生判別、雑草検出、病害虫検出など、その応用範囲は多岐にわたります。しかしながら、これらの成果の多くは、管理の行き届いた小面積の試験圃場で得られた高品質の画像データに基づく研究段階のものがほとんどで、現場圃場の実利用に結びついた成果は少ないのが現状です<sup>20)</sup>。ドローン技術の活用には、それぞれの目的にあった飛行条件(飛行高度、カメラ性能、画像解像度)の正しい理解が必要<sup>21)</sup>で、エリア範囲(ドローンで対応できる面積)は、その飛行条件と飛行性能によって制限されることになります。植生判別を例にあげますと、必要な画像解像度が1cm/ピクセルとして、1フライト20~30分程度で約5haの面積の撮影ができます。撮影した後の画像解析の時間も考慮すると、現状の性能では、北海道の広大な草地をカバーすることに限界があることを理解いただけたと思います。

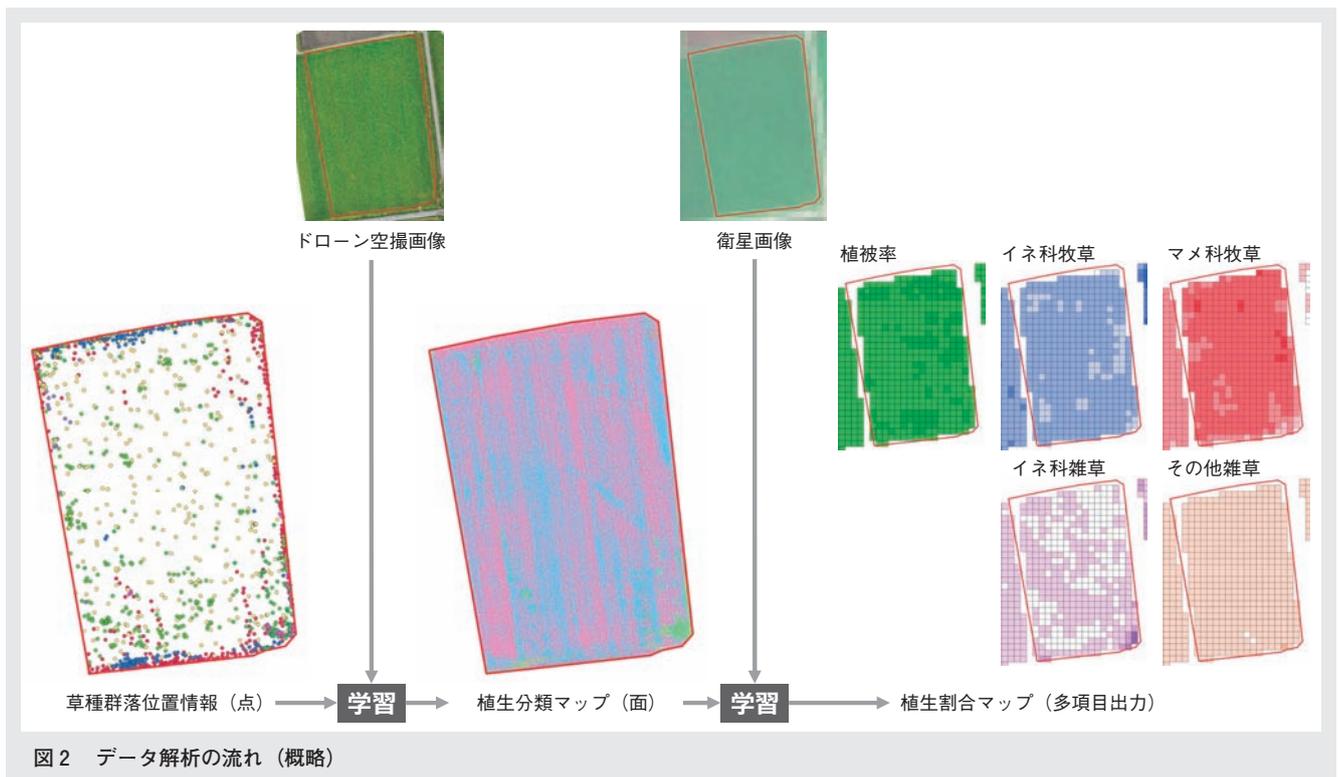
(3) 私たちの挑戦: ドローンから衛星へのスケールアップ

植生判別の観点から、衛星とドローンのそれぞれの可能性と限界について改めて整理します。衛星は、広域の評価に利点がある一方で、空間分解能の低い衛星画像では、時間的、空間的に不均一である草地の群落を捉えることが難しく、草種判別・分類に課題を抱えています。さらには、判別・分類するための正解値の取得にも課題があります<sup>22)</sup>。ドローンでは、必要な時期に高品質・高解像度の撮影によってcm級の精緻な植生分類が期待される一方で、広域のモニタリングにはドローン性能の飛躍的な進歩が待たれるところです。

そこで、私たちは、中分解能(10~30m分解能)の衛星で植生を把握するために、衛星とドローンを組み合わせた手法の開発にチャレンジしています(図1)。最終的には、衛星画像のみから植生マップを出力する技術となりますが、「人力による踏査調査(点)」→「ドローンによる植生分類マップ作成(高解像度の分類)」→「衛星画像の空間解像度での植生構成割合の出力(低解像度の複数項目の割合)」というふうに、正解値と衛星画像の間にドローンの解析で中継する工程になります(図2)。この手法は、植生分類・判別に限らず、草量や他作物への応用にも使える手法だと考えています。現



図1 試験立案時の研究構成イメージ



在、私たちの研究グループでは、北海道各地での調査を展開し（図3）、各工程での技術的な限界点などを計りながら、概ね計画通りに試験を遂行してきました。試験研究の最終年を迎え、(想定通りの!?)手応えを掴んでおり、次なる展開に向けてラストスパート中です。

### 3. 草地リモートセンシング技術の活用例と今後の展望

私たちの研究開発は、草地の状態から、このまま

使い続けるのが良いか?、更新すべきか?、管理方法に問題はないか?などの判断ができる情報を提供したいというコンセプトで進めてきました。しかし、「リモートセンシングで分かること」の利用場面は多岐にわたります。これまでも、草地リモートセンシングの様々な利用可能性が論じられていますが、今回は、牧草品種と草地更新の場面を想定した展望について、本誌で報告されている技術紹介と組み合わせて論じてみたいと思います。

#### (1) 北海道における草地リモートセンシング技術の活用例

北海道農政部が展開した、エゾノギシギシの検出とピンポイント草地更新技術の実証事業が報告されています<sup>23)</sup>。雑草検出は、ドローン（1cm分解能）か衛星（3m分解能）のどちらかを使ってエゾノギシギシを検出する技術で、画像データの最小単位となるピクセル内で最も多く生えている草の種類が色分けして表示されます。そこで、機械の作業幅に合わせたグリッド（メッシュ状のマス目）を作成し、その中のエゾノギシギシと判別したピクセル数が多い箇所について、除草剤散布と草地更新を部分的に行う技術です。

2.(1)で紹介した高分解能光学衛星による草種判別<sup>7)</sup>は、その後、民間企業等によって、現地検証

を行いながら草種の適用範囲を広げ、生産現場での草地植生診断を実施しています。近年は、植物の量や成長と関係の強い植生指数（NDVI）を、衛星データからGIS情報として表示できる営農支援サービスが登場し、水田・畑作物を中心に、草地や飼料用トウモロコシも対象となりつつあります。

## （2）草地診断技術への展開：既往技術との融合

### ①北海道向けフェストロリウム新品種「ノースフェスト」\*

横山（2024）<sup>24</sup>は、北海道で採草・放牧いずれにも利用できるフェストロリウム「ノースフェスト」について紹介しています。本品種は、農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター、北海道立総合研究機構酪農試験場、雪印種苗株式会社の三者が共同で育成した、ペレニアルライグラスとメドウフェスクの属間雑種です。ペレニアルライグラス由来の飼料品質、メドウフェスクに由来する越冬性や不良環境耐性が、本品種の特長として期待されることを、3つの事例（オーチャードグラスとの混播、チモシーとの混播、追播）で示しています。しかしながら、普及・販売が始まって日の浅い本品種が、「どういった圃場・環境で、どれくらいの期間、播種牧草の主体性を維持し、生産性に寄与できたか？」については、導入後の推移を確認する必要があります。当然、科学的な根拠を持った技術とするには、多くの導入事例について、客観的な指標で、長期にわたった調査が必要になります。

この実現のためには、従来の調査手法では限界があります。私たちは、本品種のチモシーとの混播で採草利用した場合の利点を見出すべく、2025年から試験研究に着手したところですが、まさに、この限界に直面しています。そこで、私たちが開発中の衛星画像から草地の植生と草量を把握する技術の適用を考えてみます。衛星データは過去の記録（アーカイブ）も保存されているため、記録のある限りの草地の状態の経過を知ることが可能です。「ノースフェスト」を販売・導入した草地の場所を多数、特定し、該当するエリアの衛星画像を複数年分入手するだけ（一部圃場での精度検証は必要ですけれど）で、「草地がどの程度長持ちしたか？」が分かります。併せて、草地更新の時期が近い、近隣のチモシー草地についても同様に解析・比較することで、「ノースフェスト」を導入した効果が明らかにできます。加えて、土壌、気象、草地の管理記録（施肥量とか、刈取り日とか）、などの情報も入手できる

ならば、チモシー単独での限界、チモシー草地に「ノースフェスト」を導入するメリットがある環境条件といった現地で使いやすい技術の提案に繋がることも期待しています。

### ②オーチャードグラスを活用した高品質・安定牧草生産

八木（2024）<sup>25</sup>は、オーチャードグラスは、（チモシーと比較して）播種牧草の割合を高く維持し、夏枯れのリスクが低いことを紹介し、チモシー2回刈の収穫体系に、オーチャードグラス3回刈を導入するメリットについて報告しています。しかしながら、「管理する草地のどこをチモシーにして、どこにオーチャードグラスを作付けするか？」については、雑草侵入リスクの多少、環境ストレスのリスク、生産目標量（必要量）、作業効率など多角的な視点から検討しなくてはなりません。オーチャードグラスは、チモシーと比べて、雑草との競合に優れ、夏の暑さに強いということは、多くの報告から常識と言ってよい情報と思いますが、大部分がチモシー草地である北海道の現状において、オーチャードグラスの導入を薦める条件は明示できていません。この検討にも、衛星による草地リモートセンシング技術の活用が期待できます。前項①で言及したチモシー作付けの限界と同様に、オーチャードグラス作付けの限界を示し、さらにトウモロコシの作付け計画も加味することで、土地の利用計画の意思決定支援に貢献できます。加えて、草量の年次・季節推移を追うことで、生産計画の立案にも貢献できるのではないかと考えています。現在、私たちの研究グループにおいても、オーチャードグラスの利用に関する試験研究を実施しています。既に中間の成果<sup>26</sup>を報告できましたが、続報となるような成果をいずれ紹介できればと思っています。

## 4. おわりに

草地を管理するためには、まず、その状態を把握することから始まります。酪農家および支援組織双方の労働力不足が確実に見込まれる情勢の中、広域かつ効率的に草地の状態を把握する技術は不可欠なものになると考えられます。しかしながら、私たちの「把握する技術」が、良い方向への管理・技術に繋がらないのでは意味をなさないと、自戒の念を込めて意識して研究に取り組んできました。今回、執筆の機会をいただいた本誌には、北海道の草地管理

の検討材料となる記事が極めて多く掲載されています。今回は限りある紙面で、雑草対策、気象変動対応など、安定した自給飼料生産に関する技術と、私たちが挑戦している草地リモートセンシング技術との融合について、一部しか提案できませんでしたが、皆様の日々の活動に結び付く技術であろうと思っています。最後に、私が本稿を執筆するにあたって読んだ直近の記事を列記します。本稿が、これら記事と同じく、安定した自給飼料生産・酪農畜産経営に寄与すべく、日々、活動される関係者の皆さまの参考になれば幸いです。

- ・横山 (2023) 北海道向け オーチャードグラスとペレニアルライグラスの特性およびそれらを混播した採草・多回刈り事例のご紹介. 牧草と園芸 71 (4) : 6-10.
- ・有田 (2023) 更新後の草地におけるチモシーを維持するためのポイント. 牧草と園芸 71 (2) : 1-5.
- ・高橋 (2022) 北海道の牧草地における雑草対策. 牧草と園芸 70 (3) : 10-13.
- ・横山 (2022) 北海道向け イネ科牧草の特性と混播によるリスク低減. 牧草と園芸 70 (2) : 15-19.
- ・佐藤 (2022) 化学肥料を節減した牧草・飼料作物の肥培管理. 牧草と園芸 70 (2) : 9-14.

## 5. 引用文献

- 1) 牧野司 (2010) シンポジウム「地理的情報システムの活用による草地の生産性向上の可能性」草地・飼料作物分野におけるリモートセンシング・GIS技術の利活用., 北海道草地研究会報 44 : 17-21.
- 2) 牧野司ら (2006a) リモートセンシング技術の草地への適用～市町村単位での草地の抽出および牧草収量の推定～., 日本草地学会誌 52 (別2) : 12-13.
- 3) 牧野司ら (2006b) リモートセンシング技術の草地への適用～圃場単位での牧草収量推定および草地整備事業への利用～., 日本草地学会誌 52 (別1) : 38-39.
- 4) 美濃伸之ら (1998) 衛星データによる草地利用形態および牧草収穫時期のモニタリング., 日本草地学会誌 43 (4) : 452-459.
- 5) 美濃伸之ら (1996) 多年次衛星データを利用した草地更新状況の把握., 写真測量とリモートセンシング 35 (3) : 18-25.
- 6) 牧野司 (2019) リモートセンシングおよびGISによる草地・飼料作物畑の生産性評価および管理技術の開発とその普及指導., 北海道畜産草地学会報 7 : 1-6.
- 7) 牧野司 (2019) リモートセンシングおよびGISによる草地・飼料作物畑の生産性評価および管理技術の開発とその普及指導., 北海道畜産草地学会報 7 : 1-6.
- 8) X. Fanら (2018) Low-cost visible and near-infrared (V-NIR) camera on an unmanned aerial vehicle (UAV) for assessing the herbage biomass and leaf area index in an Italian rye grass field., Grassl. Sci. 64 (2) : 145-150.
- 9) J. Geipelら (2021) Forage yield and quality estimation by means of UAV and hyperspectral imaging., Precis. Agric. 22 : 1437-1463.
- 10) K. Karilaら (2022) Estimating grass sward quality and quantity parameters using drone remote sensing with deep neural networks., Remote Sens. 14 (11) : 2692.
- 11) Clara Oliva G. Bazzoら (2023) A review of estimation methods for aboveground biomass in grasslands using UAV., Remote Sens. 15 (3) : 639.
- 12) J. Wijesinghaら (2020) Predicting forage quality of grasslands using UAV-borne imaging spectroscopy. Remote Sens., 12 (1) : 126.
- 13) R. Fujiwaraら (2022) Convolutional neural network models help effectively estimate legume coverage in grass-legume mixed swards. Front Plant Sci., 12 : 763479.
- 14) 安田泰輔 (2018) 小型無人航空機と画像解析を用いた半自然草地の植生マッピング. 日本草地学会誌 64 : 43-47.
- 15) 安田泰輔 (2022) 半自然草地内に分布する樹種を分けちゃいなよ！日本草地学会誌 67 : 195-198.
- 16) O. H. Y. Lamら (2020) An open source workflow for weed mapping in native grassland using unmanned aerial vehicle: using Rumex obtusifolius as a case study., Eur. J. Remote Sens. 54 (sup 1) : 71-88.
- 17) N. Yubaら (2021) Discriminating Pennisetum

- alopecuoides plants in a grazed pasture from unmanned aerial vehicles using object-based image analysis and random forest classifier., *Grassl. Sci.* 67 : 73-82.
- 18) R. Yoshitoshiら (2024) Detecting reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) patches from UAV-based digital surface model images- A case study in a timothy (*Phleum pretense* L.) meadow field., *Grassl. Sci.* 70 (1) : 35-40.
- 19) 黄川田智洋ら (2020) UAV (ドローン) と画像解析用によって得られる植生指数 relative Green Red Vegetation Index (rGRVI) の飼料用トウモロコシすす紋病およびごま葉枯病罹病程度評価への応用., *日本草地学会誌* 66 : 8-16.
- 20) 川村健介ら (2023) ドローン飛行高度と地上解像度の関係—大規模圃場の効率的な空撮に向けて—, *日本草地学会誌* 69 (3) : 138-144.
- 21) R. Kiyamaら (2023) Seasonal changes in the prediction accuracy of hayfield productivity using Sentinel-2 remote-sensing data in Hokkaido, Japan., *Grasses*, 2 (2) : 57-67.
- 22) 井上吉雄ら (2017) ドローンリモートセンシングによる作物・農地診断情報計測とそのスマート農業への応用., *日本リモートセンシング学会* 37 : 224-235.
- 23) 山脇豪 (2022) ICT活用牧草生産実証事業の取り組みについて., *牧草と園芸* 70 (4) : 1-3.
- 24) 横山寛 (2024) 北海道向け フェストロリウム新品種ノースフェストの特性紹介. *牧草と園芸* 72 (2) : 15-19.
- 25) 八木隆徳 (2024) オーチャードグラスを活用した高品質・安定牧草生産., *牧草と園芸* 72 (4) : 1-5.
- 26) 中村直樹 (2023) オーチャードグラス採草地の多回刈による高消化性牧草の生産., *牧草と園芸* 71 (5) : 7-11.

※  海外持出禁止 (農林水産大臣公示有)