

「家畜糞尿由来廃棄物の農地散布を最適化するための衛星画像利用システムの開発」の成果の概要について

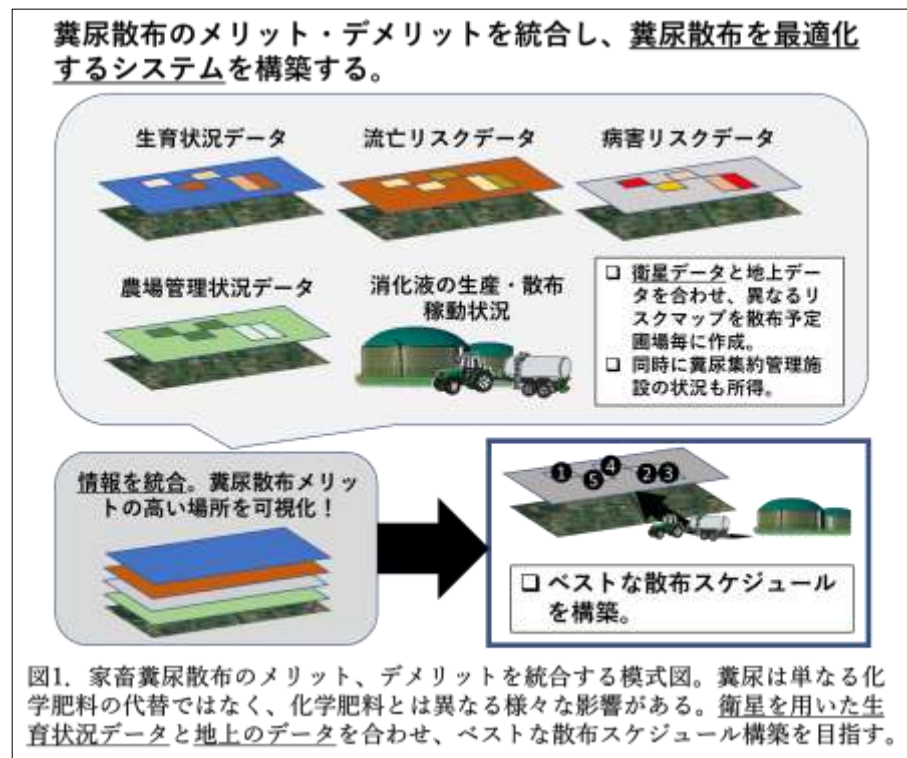
実施体制	主管実施機関	北海道大学大学院農学研究院	実施期間	平成31年度～ 令和3年度 (3年間)	実施規模	予算総額（契約額） 27.4百万円		
	研究代表者名	准教授 内田義崇				1年目	2年目	3年目
	共同参画機関	住商アグリビジネス(株)				7.4百万円	10百万円	10百万円

背景・全体目標

- 畜産業が盛んな北海道において、**家畜糞尿**を農地に散布し、栄養素を効率よく循環させることは重要な課題。
- 家畜糞尿由来廃棄物を有効的に利活用することを目指すシステムを衛星画像と地上データを合わせて構築できれば、大規模な家畜糞尿管理下においても、栄養素循環効率が把握しやすくなる。
- そのために、衛星画像で牧区レベルの牧草生育がわかるようにし、地上で所得する土壤水分データ、肥料散布データ、播種や採草といったデータと合わせることが必要である。また、それらのデータから**最適な糞尿散布スケジュールを組み立てることが出来るシステムへのニーズ**が現場レベルで存在する。

全体概要・主な成果

- 最終的には、家畜糞尿由来消化液の栄養素利用効率を理解するための**オンラインシステムを開発**することができた。
- そのために、宇宙技術利用としては衛星画像の解析によって草地の消化液散布に対する応答を検証したり、収量や牧草の質（タンパク質）を数値化することができた。また、さらなる精度向上のために今後もデータを蓄積することができるようなシステムを開発した。
- 地上データは本研究の期間内では数が限られるが、今後も同様の調査を行いつつ精度を向上させられるような運用が可能となった。



上士幌町
バイオガス
プラント

【萩ヶ岡集中プラント】
搾乳牛換算:1,800頭規模

【北門集中プラント】
搾乳牛換算:1,200頭規模

【個別設置型プラント】
搾乳牛換算:1,200頭規模

【上音更集中プラント】
搾乳牛換算:1,200頭規模

【居辺集中プラント】
搾乳牛換算:1,100頭規模

【上士幌集中プラント】
搾乳牛換算:1,200頭規模

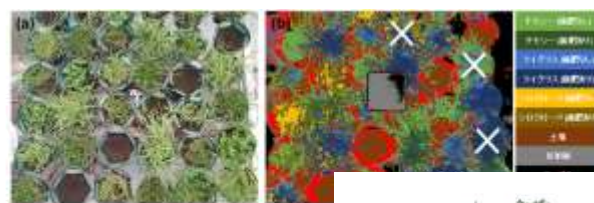
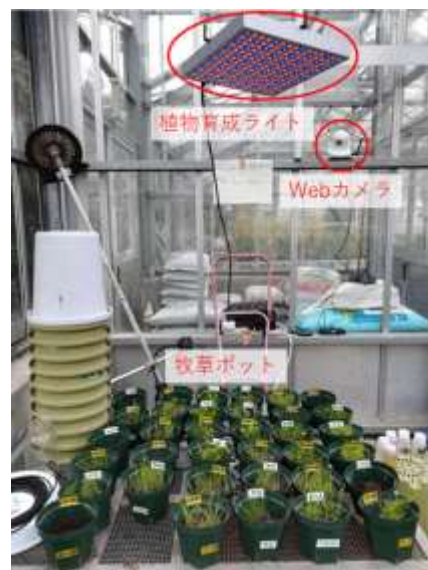
→ ふん尿持ち込み

→ 消化液持ち出し

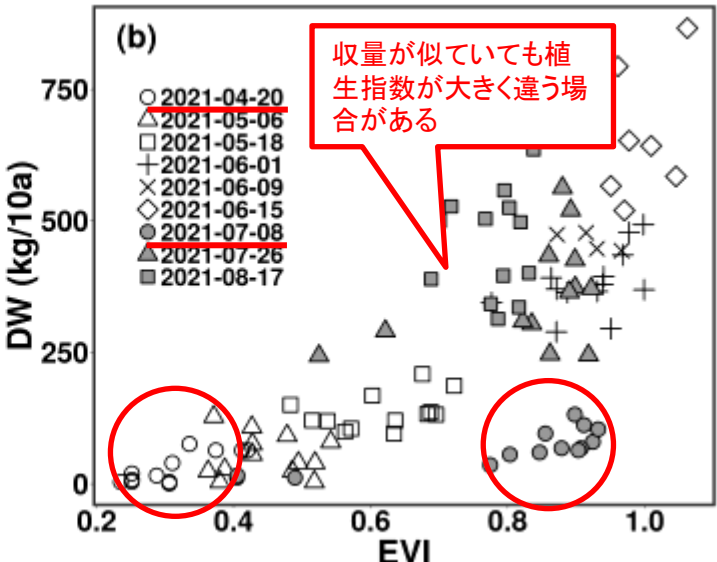
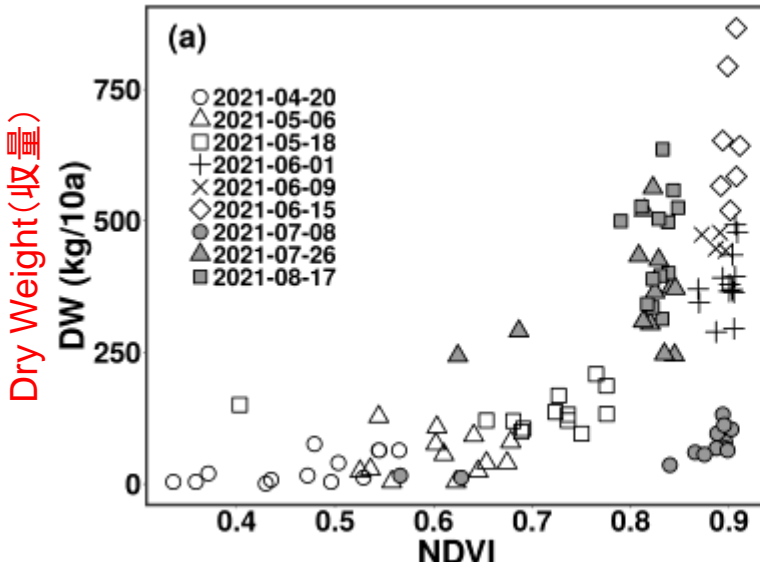
① 「画像解析」 何百もの牧草地の質や収量について宇宙技術を用い理解できるか

実施内容・成果

- 牧草種の違いを分類する
ポット試験やドローンにハイパースペクトルカメラを積み飛行させ、牧草種を見分けるための基礎情報を蓄積した。
- Sentinel2衛星画像（無料）を用いた解析を主に行い、草地の環境要因への応答をフィールドで評価した。
- 牧草生育を捉える衛星画像指標として、広く用いられているNDVIは牧草が生育すると値が頭打ちになってしまい、精度が落ちてしまう。
- 一方でEVIは頭打ちになりにくい。
- 課題としては、一番草収穫後と、春先の牧草生育・発芽期は、同じくらいの収量にも関わらずEVIの値が大きく変化する（季節性や地上でのマネジメントデータが重要である）。



ハイパースペクトルイメージ分類の可

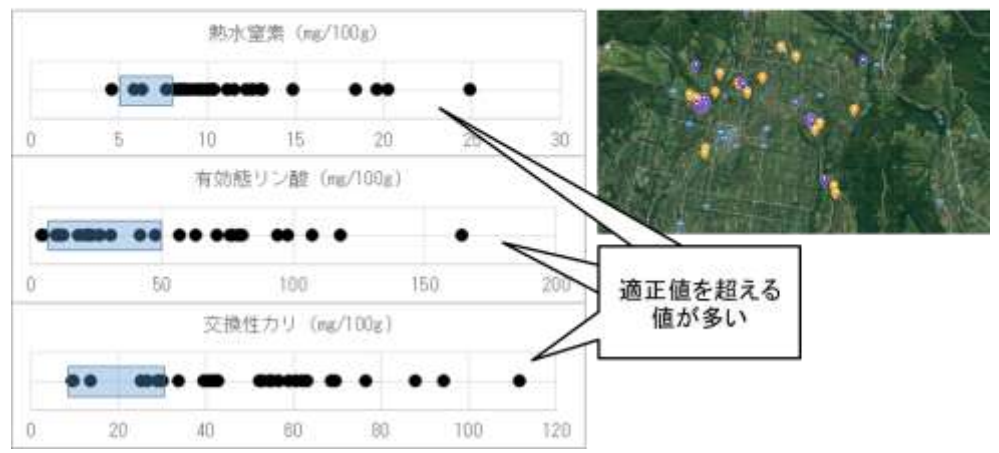


② 「非効率地域調査」 消化液の効果が薄い理由を宇宙技術を用い調査

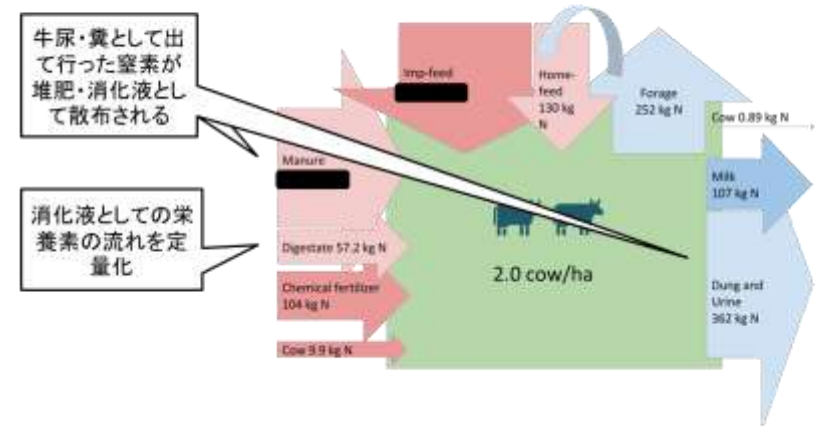
実施内容・成果

- 地上での消化液散布履歴を所得し、さらに牧草収量を衛星画像や地上調査から判別することで非効率地域（家畜糞尿を散布したが、生育効果が薄い場所）を判別できるようになった。
- その理由として、土壌中の栄養素が既に適正値を超えている場合があることを明らかにした。
- また、地域の酪農産業における栄養素循環を評価したところ、酪農場だけではなく、家畜糞尿を地域で連携しながら利用する（例：畑作などでより多く用いる）必要性も明らかになった。

地上部データ収集



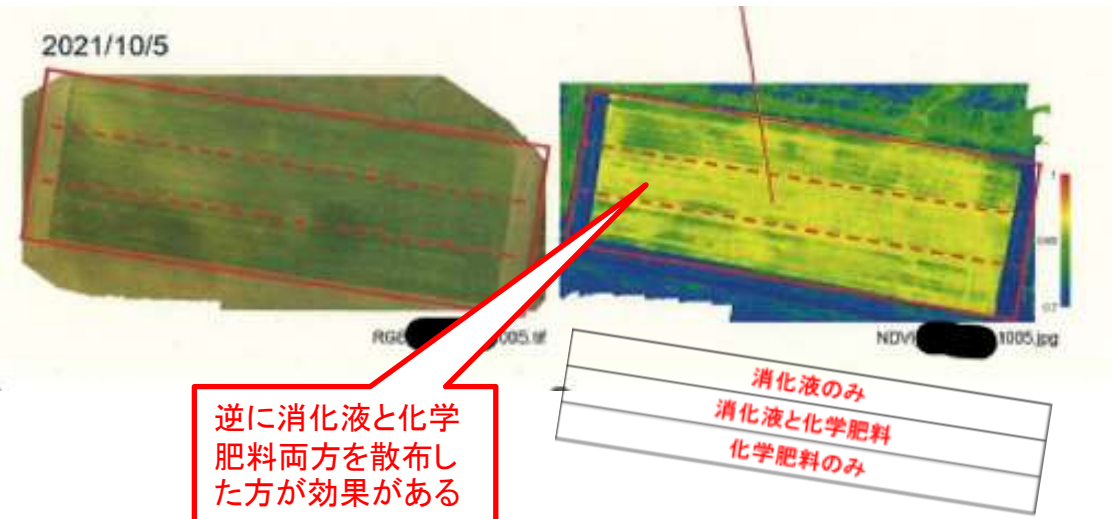
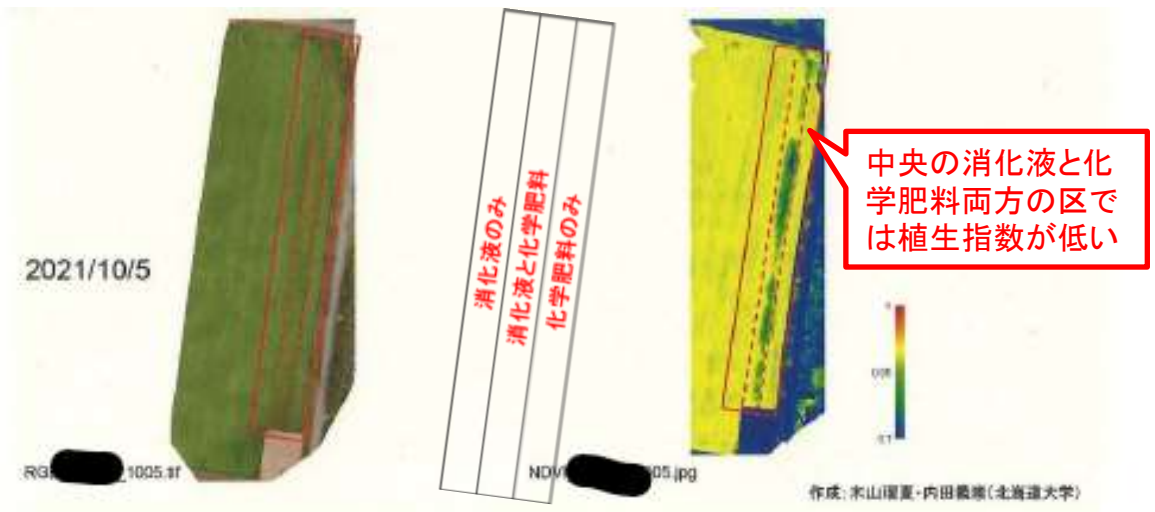
土壌からの栄養素流亡評価



③ 「最適化」 消化液の散布頻度やタイミングを段階的に改善できるか？

実施内容・成果

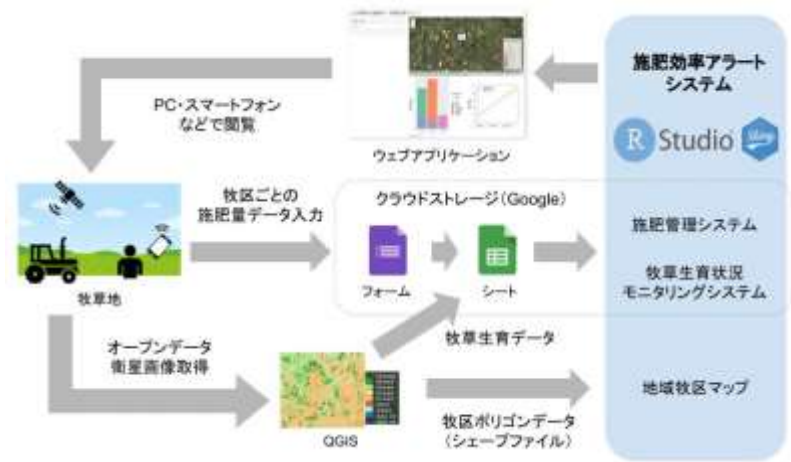
- 消化液のみで化学肥料と同等の効果がある場合と、消化液だけでは生育効果が乏しく、化学肥料が必要な場合があり、どちらなのかは土壌の性質が関係すること（先スライドで紹介したようなもとの土壌の栄養素状態や水はけなどの物理性）がわかった。
- （※必要に応じてドローンなども活用）
- 非効率地域（家畜糞尿を散布したが、生育効果が薄い場所）を判別できるようになった。
- 消化液を資源として扱い、効率よく利用する理解を深めるためにコミュニティと共同で試験を行った。



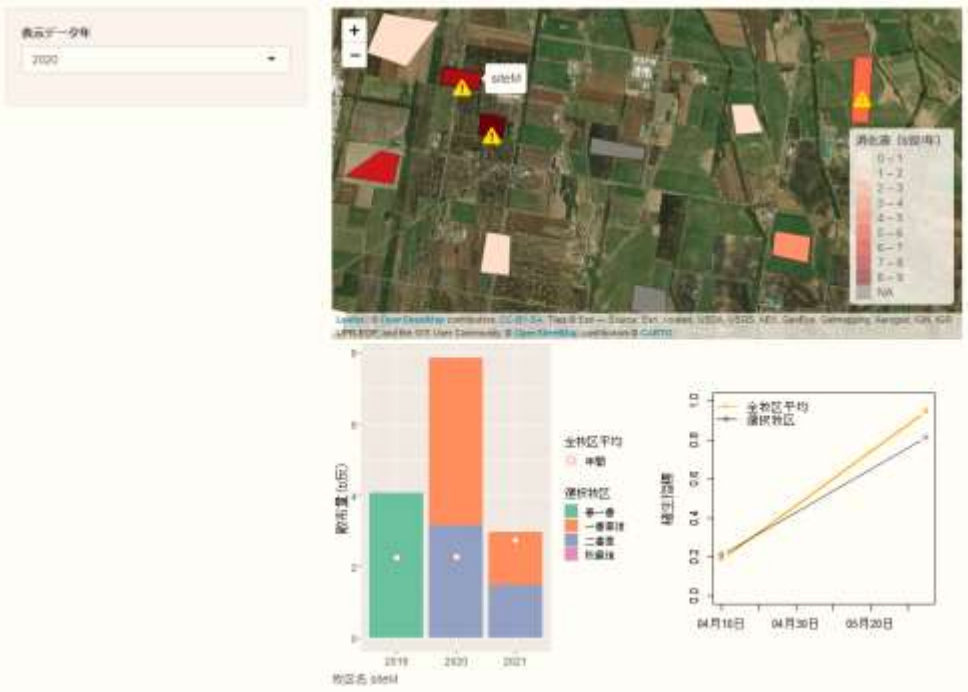
2021年度①「栄養素利用効率調査システムの検証・最適化」

実施内容・成果

- 消化液散布の栄養素利用効率を可視化し、栄養素利用効率の悪い牧区がアラートする新たなシステムを開発し公開した（岡ら、2022、農業情報研究誌）。
- 地上からの情報（糞尿散布量やタイミング）を統合し、宇宙情報としては牧区毎の植生指数の推移などを利用している。
- 消化液散布後に生育向上効果が見られなかった場所を特定したり（土壌調査などを促す）、複数年間遡って過剰散布の場合はアラートするようなシステムを構築した。
- また、簡単な色味などで散布量が多い場所や低い場所が認識できるようになった。



消化液散布～牧草生育マップ



消化液散布 作業記録

*必須

season *
時期を選択してください

選択

date *
作業日を選択してください

日付
年/月/日

id *
牧区を選択してください

2021年度②「実際の運用に向けた最終調整」

実施内容・成果

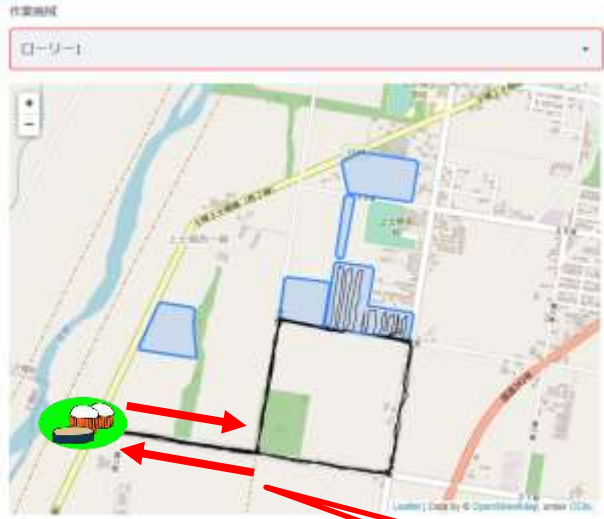
- 現場で業務時間や内容を管理するために現在用いられている日報、作業日誌などのデジタル化なども視野に入れたシステムを開発
- 現場の事務管理手法を急に転換することは困難であるため、このようなシステムが有益。
- 現場にも理解が得られやすいことなどが本研究でわかった。
- オンライン公開は行わず、内部のみでデータを扱うことに今のところはなっている（環境負荷予測などに用いることができるセンシティブなデータのため）。



糞尿散布タンカーにとりつけるGPSモジュール

農作業受託事業作業日誌 (消化液散布作業)										
【日時】	2021年 07月 01日									
【委託者】	TMRセンター 殿									
【作業者並びに勤務時間】			【作業時間】							
会社名	作業者氏名	作業機械名	午前	開始	7時 30分	午後	開始	12時 00分	終了	13時 00分
JA上土視	作業者1	タンカー	午後	開始	13時 00分	午後	終了	16時 00分	移動時間	7 時間 30 分
JA上土視	作業者2	タンカー								
JA上土視	作業者3	ローリー								
JA上土視	作業者4	ローリー								
JA上土視										
JA上土視										

【面積・台数確認】									
圃場番号	面積 (a)	確認台数	散布台数	JA担当者 確認署名	燃料	免税軽油	課税軽油		
Naitai74-1	538.19	台	台		使用機械				
Naitai74-2	262.68				【トラクター】				【タンカー】
Sugawara13-0	405.41				1号車				1号車
Sunclover56-0	312.93				2号車				2号車
					号車				号車
					号車				号車
					号車				号車
					号車				号車
					号車				号車
					【ローリー】				
					1号車				2号車
					号車				号車
					利用施設				
					上音更 上土視 北門 藪ヶ岡				
					【タンク 記入不要】				
					1台				494.85 t
					【ローリー 記入不要】				
					1台				428.35 t
					* 太枠は記入しない				
					* 確認面積は実測終了後の数値とする				
					* 昼休みは控除する<1時間>				
					* 作業終了後、速やかに担当者へ提出する				
					決裁	検証	作成	合議	



バイオガスプラントと牧区を往復しながら散布を行う履歴を記録

1分当たり散布量(t)

5.0

1 100

入力保存+日報作成

入力リセット

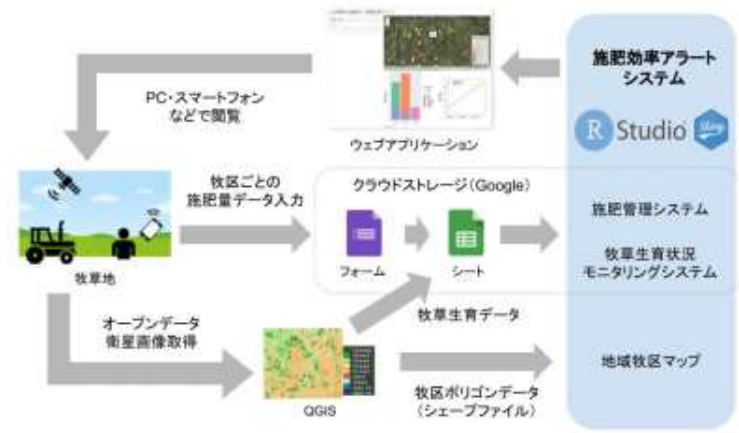
日報ダウンロード

その他の成果

これまで得られた成果 (特許出願や論文発表数等)	特許出願	査読付き 投稿論文	その他 研究発表	実用化事業	プレスリリー ス・取材対応	展示会展展
	国内：0 国際：0	国内：1 国際：1	国内：0 国際：0	国内：0 国際：0	国内：3 国際：0	国内：0 国際：0
	受賞・表彰リスト		日本土壌肥料学会奨励賞、日本農学進歩賞			

成果展開の状況・期待される効果

- ・トラクターやタンカーの運行履歴を記録・評価するベンチャー企業と連携し、事業化を準備中。
- ・運行履歴を「栄養素の移動」として本研究は捉えており、さらに宇宙技術を用いてその効率を調査する点が本事業の新規的な部分であり、幾つかの企業から連携の問い合わせがあり成果を展開予定。
- ・北海道大学農学部としては肥料・飼料高騰時代において日本人に何ができるかを大きなテーマとしたプロジェクト展開を予定。



今後の研究開発計画

本課題によって判明した改善すべき点や成果：

- ・現場レベルで作業を「変化」させる余裕、余力などを理解すること。例えば、糞尿散布を委託されている会社が他にどのような業務を抱えているか、どのような優先度で何をやっているか、などを理解しなければ変化を促せない。

現在計画している内容：

- ・本研究の拠点とは今後も連携。栄養素効率をさらに向上するための具体的な取り組みを開始中。環境負荷リスクに関わるデータを扱うための守秘義務契約などについても具体化しており、段階的に栄養素効率を向上させるための目標を立てている。
- ・令和3年度JST共創の場形成支援プログラム共創分野育成型（地域エネルギーによるカーボンニュートラルな食料生産コミュニティの形成拠点・代表 石井一英先生）事業において本課題成果が別地域において役立っている。家畜糞尿由来のエネルギー生産を課題としているが、消化液の利用効率の数値化に関しても地域コミュニティの持続的な発展に重要であることが示された。
- ・ソニーグループや他企業と共同研究を開始することができており、衛星技術・宇宙技術を利用した全国規模のビジネスモデル構築や持続的な社会設立へ貢献するプロジェクトが立ち上がっている。ソニーグループとは「リジェネレティブ・アグリカルチャー（再生型農業）」をテーマに、本課題代表者が代表となって大型研究を進展させている。

事後評価票

令和4年3月末現在

1. プログラム名 宇宙利用技術創出プログラム
2. 課題名 家畜糞尿由来廃棄物の農地散布を最適化するための衛星画像利用システムの開発
3. 主管実施機関・研究代表者 北海道大学農学研究院 准教授 内田義崇
4. 共同参画機関 住商アグリビジネス(株)
5. 事業期間 平成31年度～令和3年度
6. 総経費 27.4百万円
7. 課題の実施結果
(1) 課題の達成状況
「所期の目標に対する達成度」
◆ 所期の目標 畜産業が盛んな北海道において、家畜糞尿を農地に散布し、栄養素を効率よく循環させることは重要な課題である。我々はこれまで、いつ・どこに・どれだけ糞尿を散布すれば最も効率よく栄養素が再利用されるのか、というテーマで研究を進めてきた。その結果、道内の数々の市町村では、町ぐるみで糞尿散布スケジュールが組まれており、その散布を持続可能な方法で行うために、不均一な草地・畑地の生育状況や複雑な環境負荷リスクをリアルタイムに近い形で得ることの重要性、また農家のアクティビティなどの地上データを蓄積することの重要性が示唆された。そのため本研究では、家畜糞尿由来廃棄物を有効的に利活用することを目指すシステムを衛星画像と地上データを合わせて構築する。衛星画像で週一程度、農場の牧区レベルで生育量のバラつきや町全体でのランキングがわかるようにし、地上で所得する土壤水分データ、肥料散布データ、播種や採草といったデータと合わせ、その週の糞尿散布スケジュールを組み立てることが出来るシステムを開発する。
◆ 達成度 この部分は、中間報告資料の成果に関する事後自己点検の方針を踏まえて達成度とその理由を述べる。全体的に目標を確実に達成することができたことが大きく評価できる。また、現場と当初から連携することによって、より普及に近い研究がコミュニティと共同で行えたことも評価できる。

実施項目①：画像解析

達成度：フルサクセス

牧草種の違いによって異なる草地の環境要因への応答がハイパースペクトルカメラや衛星画像を用いて評価できた。具体的には、チモシーやペレニアルライグラスなど、目視では似通った種であってもハイパースペクトルカメラである程度見分けられることが基礎的なポット試験やドローンに搭載したハイパースペクトルカメラ画像を組み合わせることによってわかった。また、フィールド調査部分に関しては、コロナ禍で打ち合わせや調査がキャンセルされ、もっとも重要な春先の生育データを当初は取得することができなかったが、三年度目の春の調査で二年目に取れなかったデータを得るという工夫をすることによって終了時点までにキャッチアップできた。具体的に理解できた項目としては、チモシーという名の牧草が研究対象地では主に播種されているが、実際に育っている牧草は多様であることや、異なる種が繁茂した牧草地は特に一番草が収穫された夏～秋に衛星画像から Sentinel2 衛星画像で調べた際に色味の違い（不均一性）が観察されることがわかった。また、現在作物の生産性を調べるのに多く用いられている NDVI 指標よりも、EVI 指標が牧草収量予測にはより適していることもわかった。

実施項目②：非効率地域調査

達成度：フルサクセス

牧草生育の増減をコントロールしている要因を数値的に明らかにすることができた。また、その要因を取り除くための費用対効果を数値的に打ち出し、宇宙技術を用いることでスケールアップすることができた。具体的には、地上での土壌データ収集によって、既に栄養素が多い牧区に家畜糞尿を多く散布しても効率が悪く経営的メリットが得られにくいことがわかった。研究対象地域においては、長年の施肥によって栄養素が土壌に蓄積している傾向があることが先行研究などで明らかになっているため、これらのフィールドに過剰な糞尿由来栄養素を散布することは理想的ではなく、栄養素が欠乏した畑を見分けそこに散布するスキームができることが望ましい。そのような背景から、研究対象地域全体としても糞尿散布面積をより広く確保しなければ栄養素循環効率が保てない可能性があることが明らかになった。さらに糞尿散布の実施状況を地上データやトラクターの運行履歴などを用いて記録できるようなシステムを開発し、そのデータと衛星画像データを合わせることで糞尿散布効果が見られない牧区を認識できるようになった。これまでは複数年度の糞尿散布履歴データを統合してリアルタイムで管理することが困難であったが（紙媒体などで管理されているため）、このシステムでバイオガスプラント稼働後数年間の家畜糞尿散布履歴が閲覧できたり、複数年の糞尿散布による影響を評価したりできるようになった。

実施項目③：最適化

達成度：フルサクセス

消化液の散布頻度やタイミングを最適化するための実施案を提案した。また、その案を実施することを妨げる要因を理解し、段階的に改善するプランを立てた。宇宙技術を用いて本課題が

開発したシステムによると、消化液の散布によって良い応答を示す牧区とそうではない牧区があることがわかっており、消化液応答が乏しい牧区を対象にした土壌調査を行い、必要に応じて消化液散布のタイミングや量を変更するといった対応が可能となった。また、現場における牧草・飼料生産の改革が必要であることがわかった。まず、消化液の散布頻度を改善するだけでなく、さらなる散布場所の確保が必要なることがわかった。この部分に関しては、家畜を扱う酪農産業だけでなく、近隣の畑作農家との強い連携が必要であり、本研究は現場レベルで畜産業と畑作業が連携する上でも役立った。また、散布頻度やタイミングに関しても、散布直後の長雨などで効果が大幅に変化することもドローンなどを用いた調査によってわかってきており、気候データや土壌中の水分動態データと併せることで消化液をより効率よく利用できる可能性についても理解できた。

2021 年度実施項目①&②：

達成度：フルサクセス

2021 年度には、消化液散布の栄養素利用効率調査システムを検証し、最適化し、それを現場で運用するための最終調整も行った。まず効率調査システムとしては、実際にオンライン公開し、運用が可能となっている（岡ら、2022、農業情報研究誌）。このシステムでは、地上からの情報インプット（消化液散布量、栄養素量、場所）と宇宙からの情報（牧区毎の植生指数の推移等）を統合し、消化液散布後に効果が高かった場所と低かった場所を認識できるようにしており、さらに消化液過剰散布の閾値を設定し、アラートを出力する機能も備えている。また、本課題の調査によって、消化液の栄養素利用効率については、研究調査期間においては効率化している（2020 年度と 2021 年度の比較による）ことがわかってきている。ただ、このデータに関しては年度毎に効率を計算するのではなく、長期的な消化液由来栄養素の土壌での残留なども考慮に入れる必要があり、より長期的に調査する必要性が明らかになってきた。また、消化液利用効率調査システムを現場普及するにあたっては、段階的な変化が必要であることもわかった。そのために本課題では、現在現場で業務時間や内容を管理するために用いられている日報、作業日誌などのデジタル化なども視野に入れたシステムを開発し、このシステムの有効性などについて現場と議論を進めた。このシステムに関しては、消化液散布タンカーの運行履歴などをデータ化し、その履歴から散布量や場所が見える化し、それだけではなくその情報から従来現場で用いられている日報や作業日誌を従来と同等のフォーマットで出力できる。研究対象地域においては、消化液の散布履歴データは非公開データのため（町の希望により）、実際のデータを用いることは現在オンライン上ではできていないが、内部で用いるためのシステムとして利用が推進されつつある。

「必要性」

本課題は北海道の酪農地域において極めて必要性が高いものであることがわかった。農林水産省のデータによると、糞尿に関する悪臭、水質汚濁などの苦情数は、ここ近年は横ばいで推移している（減少していない）。糞尿管理を DX 化することで、量や質、利用効率を数値的に捉えることができ、そのことで不必要な場所に糞尿が蓄積することがないように管理が行える。そ

のような糞尿管理の改革に本課題は大きく貢献することができた。具体的に、下記二項目において必要性をより詳細に述べる。

[社会的・経済的意義]

北海道において畜産業は極めて重要な産業である。古くは土質の改善に必須である堆肥などを生産したのが家畜であり、その効果により北海道の農業生産性は飛躍的に向上した。また、冷涼な気候や少ない日照時間故、稲作や畑作が困難な地域においても、畜産業によって地域を発展させることができ（人がそこで生活できるようになり）、北海道における分散社会が確立されているという歴史もある。近年においてはエネルギー自給、分散型エネルギー供給などへの需要が高まり、家畜糞尿をエネルギー源として利用する「バイオガス発電」産業が急激に発展してきている。一方で、バイオガス発電に糞尿を用いたとしても「糞尿そのもの」が消失するわけではなく、大量の「消化液」が処理しなければいけない廃棄物として残ることが現場で大きな課題となっている。バイオガス発電事業を考案する上で、ある意味最も大きな課題はこの消化液をどのように利用するかを考え、それを持続的に運営していくことであることは近年道内の各地で消化液処理が問題となっていることから明らかである。一方で、消化液を資源と捉え、確実に栄養素をリサイクルするという考え方を全道のみならず全世界に広げていけば、バイオガス発電による分散型・自立型エネルギー供給社会がより持続的に発展していくことができる。このように、現場が消化液を「栄養素を含んだ資源」として捉えるためにも、本研究課題は大きな意義があった。我々の調査に協力した役場や農協の職員らが消化液を「処理しなければいけない液体」ではなく、「有効に活用すべき資源」として扱うように変化を促すことができた。

[国費を用いた研究開発としての意義]

農林水産省の「みどりの食料システム戦略」の中心にあるのは資源の調達、リユース、リサイクルである。また、有機農業の推進、化学肥料施用量の大幅な減少も本戦略の重要な項目である。本課題はこの戦略に直接的に貢献している。例えば、研究対象地域においては、これまで消化液に加えて化学肥料施用も行う農法が主流であったが、本課題において土壌栄養素などを扱う研究者、衛星画像解析を行う研究者、肥料会社、地域ステークホルダー（農協、役場）が連携して調査を行うことで、消化液のみで作物生産を行う場所が増加してきた。牧草地において有機認証を取ることを目指す農家も近年増加しており（補助金制度が利用できるため）、その際に化学肥料を段階的にどのように減らしていけばいいのか、そもそも有機肥料をどれだけ確保すればいいのかという疑問にも本課題成果は答えることができている。

「有効性」

本課題は十分に有効であった。食料や肥料のほとんどを輸入に頼る我が国にとって、栄養素を効率よく循環させることは今後我が国が持続的に社会を構築していく上で極めて重要である。本課題はこのような国家規模課題を背景に、国際的な動向も視野に入れつつ発展させることができた。具体的に下記に示す。

[実用化・事業化や社会実装に至る全段階を通じた取組]

糞尿由来栄養素の循環を考える上で、研究者が考える理想像と現場で行える実際の運用とは当初は大きなギャップがあった。科学技術と応用・事業化を繋げることの困難さはこれまでも広く議論しているが、家畜糞尿管理システムを構築する上でこれだけ密に産学官が連携した事業はこれまでにほとんど無かった。例えば、糞尿散布履歴を管理する上で、糞尿散布タンカーにGPS センサを取り付けることでそれがより簡便になることは研究者目線で見ると明らかであるが、現場にそれを持ち込み実際にタンカーの運転手に依頼すること、理解を得ることは極めて困難であった。見張られているように感じる、という意見や、良い悪い等を判別され数値化されることに対する反感などは、研究者が実際に現場に出ることで理解できたことである。

[国際標準]

酪農産業においては、糞尿由来の反応性窒素（水質を悪化させる硝酸態窒素や、温室効果ガスである一酸化二窒素など）を2030年までに半減させるというEUの取り組みが広く知られており、我が国においても地球研がリーダーを務めるプロジェクト「人・社会・自然をつないでめぐる窒素の持続可能な利用に向けて」などが類似の目標や政策案を打ち出す予定である。しかし、本課題において、北海道の大規模酪農における窒素循環の特殊性（例えば、複数の産業やステークホルダーが窒素循環に関わっていることなど）が明らかになっており、単純に海外の標準を当てはめると産業界が混乱しかねないことや、我が国独自の戦術を作る必要性があることなどを明らかにできた。

「効率性」

本課題の効率性は十分であった。コロナ禍において推進したプロジェクトであり、困難は数多くあったが、コミュニティと当初から連携して開始したプロジェクトであったため、そのような事態においても効率よくプロジェクトを推進できたと考えている。具体的には、現場の調査などにおいて、札幌の研究者グループが現場を訪問できない際は、十勝地域の役場・農協が連携してデータ収集を行うなどの工夫を行うことで効率性を維持することができていた。

[目標・達成管理の妥当性]

本課題の中心となっている考え方は「コミュニティと共同で」技術創出を行うことである。そのため、目標・達成管理においては現場で用いることができるかが一つの大きな指標となっていた。また、我が国には様々なスケールの農産業が存在しているが、そのうちの最も大きなスケールである十勝地方の酪農を対象としたことも目標として妥当である。宇宙利用に関しては、その解像度が大きな課題となるため、小さな面積よりも大きな面積を一度に観察できるメリットを生かすことが重要だと考えたからである。

(2) 成果

ここでは主に成果に関する事後自己点検の方針に沿って記載する。また 2021 年度の成果についても詳細に説明する。

「アウトプット」

本研究のアウトプットは、宇宙技術を用いて糞尿栄養素の循環効率を広域に評価するシステムを開発し、その重要性に関する理解を糞尿管理に関わるステークホルダーの間で深めることができたことである。研究対象地域においては、千頭規模の家畜糞尿を一括管理するバイオガスプラントが6基稼働しており、それぞれのバイオガスプラントからの消化液が数百の牧区に異なるタイミングで散布される。また、この消化液散布は個々の農家ではなく委託会社によって行われており、散布場所やタイミングは日報としてアナログ管理されていた。このような背景で、その消化液散布の効果が見えにくくなっていることが課題であった。本事業によって、消化液散布の効果がある程度見られるのであれば化学肥料施用を削減することができるのかどうか、また消化液散布に関するコストパフォーマンスはどれほどあるのかといった部分で具体的な議論がコミュニティ間で進められるようになってきたことが本研究のアウトプットの一つである。

そのために宇宙技術を用いた画像解析を行い、草地の消化液散布応答が広大な牧草地において理解できるようになった。また、消化液散布応答が乏しい牧区を地上調査に頼らずに判別できるようになったことも大きなアウトプットである。このような牧区毎の生育状況データを、宇宙技術を用いて蓄積するシステムを本研究で開発したことによって、このシステムは他地域でも利用できるようになった。さらに、現在はこのシステムをオンライン利用できるようになっており、論文として公開もされている（岡ら、2022、農業情報研究誌）。

【国内外の同種の研究開発動向】

• 九州の草地を対象とした同プログラムとの連携

本研究によって牧草地における収量や質を、衛星画像を用いて一定の精度で予測できるようになったが、この成果は、現在連携している同プログラム【過疎地活性化のための地球観測と高精度測位による放牧地と放牧牛をモニタ可能な自動飼養システムの構築（代表：後藤貴文先生）】を推進するためにも役立っている。このプログラムでは主に放牧地を扱っているため、北海道の牧草管理とはやや趣旨が異なる部分もあるが、季節変動する牧草の色味や草丈と衛星画像の関係に関しての基礎データを応用できている。

• ソニーグループとの連携

本研究で家畜糞尿管理をデジタル化することの重要性に関する理解が深まるという成果が得られたが、その結果、より効率的に糞尿管理を行うということをテーマの一つとしてソニーグループと連携し、北海道大学内に新たな部門「ソーシャル・イノベーション部門 for プラネタリーバウンダリー」を開設することができた。

- デンマークなど畜産大国で既に行われている糞尿をコミュニティで管理するという考え方は本研究の発展型となりうる同種の研究開発として、デンマークが主導している EU レベルのプロジェクト「MIXED」がある。このプロジェクトはコミュニティレベルで糞尿を含む有機廃棄物をリサイクルするシステムを研究者と地域が連携して推進している。本課題の代表者とこの MIXED プロジェクト代表者は、本課題について議論したことなどをきっかけに連携を深め、共同で授業を行うなど、今後、EU と日本で家畜糞尿管理に関わる大型プロジェクトを推進するための準備を進めている。

「アウトカム」 (令和4年10月末時点)

ここでは、中間発表で用いたアウトカムに関する事後自己点検の実施方針を元にどのようなアウトカムやインパクトがあったかを説明する。

まず、実施項目①「画像解析」については、消化液由来栄養素を最大限に活用できるよう牧草の収量や質を評価するシステム、アルゴリズムが構築され、現場で利用されたことが評価できる。初夏に収穫できる一番草に関しては草の収量や質の指標となるタンパク質割合が現場運用可能な精度で評価できることがわかった。波及に関しては、現場とのさらなる連携が必要であることもわかってきた。現状では、草の収量や質がベストなタイミングであっても、作業を行う委託会社の他作業との優先度など(他畑作物の収穫や播種など)との兼ね合いなどがあり、本研究の対象作物である牧草だけを優先できなこともわかった。しかし、宇宙技術を用いてこれまで議論されることが少なかった牧草の質や量に関して現場と対話を深めることができた。

実施項目②である非効率地域の調査については、雑草の繁茂や土締固め、過剰・欠乏する土壌栄養素などの牧草生育制御要因によって変化する牧草収量が衛星画像を用いて牧区毎に評価できるようになったことが評価できる。また、消化液由来栄養素が適正にリサイクルされていることを、我々が開発したオンラインシステムを用いて農業従事者が視覚的に判別できるようになった。

実施項目③については、消化液散布プランを立てる際に、人工衛星で理解される牧区毎の生育状況データが生かされ、また消化液散布後の人工衛星画像が、プランが適正であったかを評価するのに用いられるようになった。さらに、そのシステムが利用しやすくなり、他地域でも利用されうる形として完成している。

2021 年度の実施項目①&②については、町全体で栄養素が適正に循環しており、化学肥料や濃厚飼料として持ち込まれる栄養素の行方(作物として収穫できているか否か)が人工衛星画像を用いて理解できており。さらに、その結果を年度毎にレビューするためのシンポジウムを年に一度行っている。コロナ禍でシンポジウムがキャンセルされた場合はレポート等を町と共有しており、現在においても継続的に、かつ現場の収益を減少させないように段階的に最適化するよう議論する基盤が構築されている。

(3) 今後の展望

● 町と連携した栄養素循環の可視化と適正化に向けた動き

本研究の拠点であった上士幌町とは今後も連携し、栄養素効率をさらに向上するための具体的な取り組みを開始している。2022 年度においても本研究成果をさらに発展させ、実際の畑地に化学肥料と消化液散布を比較する場所を多地点設け、ドローン画像や衛星画像を用いてその効果を考察する試験を継続している。環境負荷リスクに関わるデータを扱うための守秘義務契約などについても具体化しており、段階的に栄養素効率を向上させるための目標を立てている段階であり、町長、農協長レベルで本プロジェクトへの協力を得られている。これからも栄養素循環の適正化に向けて長期的に連携していく予定である。

● より大きな予算獲得に向けた動き

本研究で得られた成果は、令和3年度 JST 共創の場形成支援プログラム共創分野・育成型（地域エネルギーによるカーボンニュートラルな食料生産コミュニティの形成拠点・代表 石井一英先生）事業においても役立っている。このプロジェクトにおいては、家畜糞尿由来のエネルギー生産を課題としているが、消化液の利用効率の数値化に関しても地域コミュニティの持続的な発展に重要であることが示された。また、共創の場に関しては道東地方などを研究拠点としているため、本研究成果が多地域においても普及しつつあることを示している。

● 企業との連携など

ソニーグループや他企業から数多くの共同研究依頼が寄せられており、守秘義務があるため詳細は伏せるが、衛星技術・宇宙技術を利用した全国規模のビジネスモデル構築や持続的な社会設立へ貢献するプロジェクトが立ち上がっている。ソニーグループとは「リジェネレティブ・アグリカルチャー（再生型農業）」をテーマに、本課題代表者が代表となって大型研究を進展させている。

8. 評価点

A

評価を以下の5段階評価とする。

S) 優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献した。

A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。

B) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。

C) 一部の成果を挙げているが、宇宙航空利用の明確な促進につながっていない。

D) 成果はほとんど得られていない。

9. 評価理由

地域の関係者と密接に連携し、畜産糞尿のスケジュール計画という具体的なニーズに対応した、糞尿栄養素の循環効率を広域に評価するシステムを開発し、ゼロカーボンも志向している点を高く評価する。衛星やドローンに搭載したハイパースペクトル・センサを使った牧草の収量予測、牧草地への糞尿散布現況のデジタル化、糞尿散布と土壌成分との収量の関係把握において成果が得られた点など、家畜糞尿由来廃棄物を有効的に活用することを目指すシステムを衛星画像と地上データを合わせて構築するために必要な基盤技術について、進展があったと評価できる。

一方で、それぞれの成果は離散的であり、畜産現場からの地上データが入らず実践レベルでの機能検証が成されていないと思われるほか、本テーマに期待された衛星画像をもとに糞尿散布を制御するシステムに到達するにはまだ成果が十分ではないと考えられる。また、提案手法は、衛星観測データ利用の一つの方法であり、技術創出という観点からは、大いに新規性があるとまでは言えないものと判断される。

また、北海道という特有な酪農環境における新たな循環型エコシステム構築を目指すに当たり、行政、教育、産業組織（農協など）、地域の酪農家組織（青年団など）を取りまとめた大きなチーム作りが達成できれば、よい良い成果を創出できたものと考えられる。大学の研究者としてやれる範囲で十分な努力がなされているが、畜産現場と連携して実用化する体制構築には至らず、本事業の最終目的からすると、もっと大きな組織的な連携が必要であると判断される。利用技術創出の観点で、広く活用できる学術成果だけではなく、ニーズに直接寄与していることが分かる成果をだすことが、農業事業者の協力を得ることに繋がると思われる。

所期の成果はある程度あがっており、協力体制を早期に拡充しより多くの協力者を得て活動を広げることで、宇宙航空利用の促進への一層の貢献が見込まれる。

以上より、本課題は、相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献していると認められる。

今後は、以下の点が期待される。

- 事業として、北海道のより広範な地域への拡散と、海外への技術の展開についても期待される。
- ソフトウェア開発企業や計測器メーカーなどとの協業を目指すことも重要であり、協力関係構築が望まれる。
- 学術としての多くの成果の公開が難しい点もあると思われるが、本システムを活かした提案者自身の将来ビジョンと現場レベルでの意向の間のマッチングの改善、その結果も踏まえた実用化の推進に期待する。そのためにも同分野における世界的な状況・動向を踏まえた上でのシステムの構築を期待する。