

# 「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」の成果の概要について

実施体制	主管実施機関 研究代表者名	鹿児島大学非常勤講師 教授 後藤 貴文 (北海道大学)	実施期間	令和2年度～ 令和4年度 (3年間)	実施規模	予算総額 (契約額) 59.4百万円		
	共同参画機関	北海道大学、宇宙航空研究開発機構、(協力機関：株式会社さかうえ、下碓牧野組合 (一般財団法人リモート・センシング技術センター))		1年目		2年目	3年目	19.9百万円

## 背景・全体目標

本提案は、中山間地域や離島などの過疎地の活性を念頭に人工衛星による地球観測や高精度測位から得られるデータによって放牧地や放牧牛の行動履歴や運動量をモニタ可能な自動飼養システムを構築することが目的である。放牧地の適切な活用や各放牧牛の状態に応じた補助飼料供給や遠隔飼養が可能になり、牛肉生産の飛躍的な省力化に寄与できる。①地球観測衛星データを利用した放牧地の放牧牛採食による草量変化、土壤微生物や土壤栄養バランス等の動態及び放牧地と放牧牛採食の関係性評価 ②高精度測位機能や体調モニタ機能を具備したセンサーを牛に装着し、測位衛星データを利用した放牧牛の行動履歴や運動量、体調の変化の把握と評価 ③2つの成果を踏まえ、それらを統合し、全自動飼養システムの設計と実際の放牧地・放牧牛による有効性検証することを目的とした(図1)。

## 全体概要・主な成果

地球観測衛星データによる放牧地の草量、土壤動態と放牧牛の関係性の評価とモデル作成について、牧草地のバイオマス(主に草高)と、同期観測した衛星データから、放牧地におけるバイオマスを推定するモデルを構築した。また、鹿児島県志布志市の耕作放棄地を活用した実証放牧地においてバイオマスと、同期観測した衛星データから、耕作放棄地におけるバイオマスを推定するモデルを構築した。また、土壤動態と放牧牛の関係性については、家畜の放牧によって土壤の微生物性、化学性、物理性が明らかに変化することを示した。高精度測位による各放牧牛個体の行動履歴や運動量の把握と評価とモデル作成について、測位衛星システムのデータによる放牧牛の測位とリモートセンシングデータによる放牧地の状況分析との連携により、放牧牛の運動量推定と評価を行った。また、インプラント体温データより牛の消費エネルギー等の推定値等も加味して、衛星でセンシングされた牛の行動を飼養の面、あるいはアニマルウェルフェア等の評価モデルを構築した。自動飼養システムのモデル構築については、これまで得られた地球観測衛星と測位衛星のデータによる放牧地の草量管理システムと放牧牛の行動量などのモデルを統合し、クラウドで活用するために採取されたデータより、放牧牛個体の必要給餌量等を推定した。個体管理モデル等の実証試験のため、自動飼養システムモデルを実証試験し、更に社会実装へ向けてシステム間のマッチングを検証し、全体としてのパッケージを確認した。

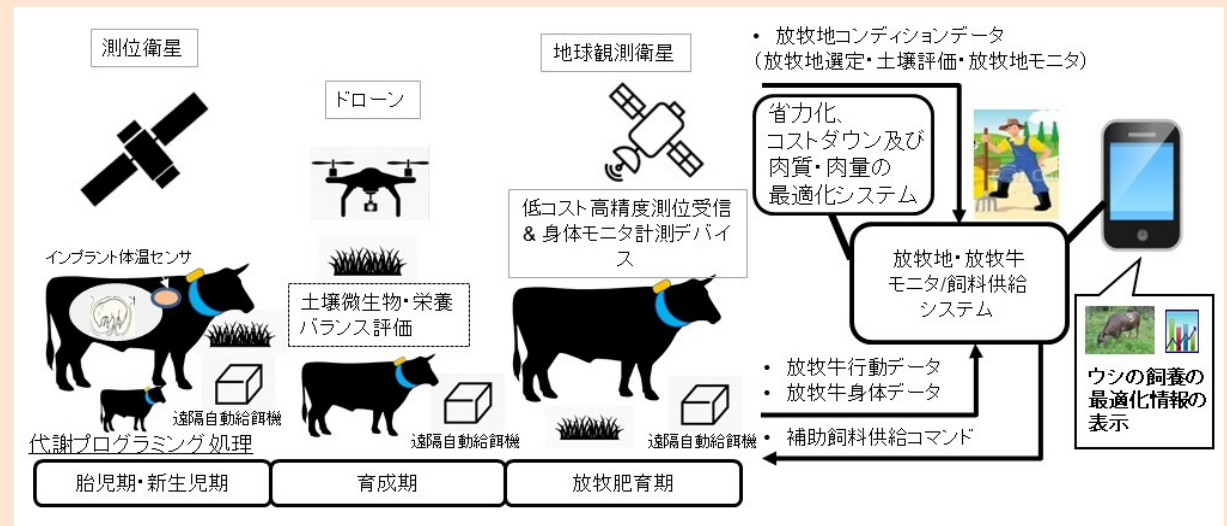


図1. 構築するシステムの自動飼養システムの利用イメージ

# ① 「地球観測衛星データによる放牧地の草量の関係性の評価とモデル作成」

## 実施内容・成果

地球観測衛星の放牧地画像データを収集し(図2)、放牧地の草量変化(図3)、土壌微生物や土壌栄養バランス変化や放牧牛の採食との関係について解析した。また、実際に地球観測衛星データから放牧地ローテーションの時期を推定し、推定した情報に従い、放牧地のローテーションを行い、実務に耐えるかを実証した。放牧地のローテーションによる土壌動態(土壌に含まれる微生物や栄養素やそれらのバランス等の時間変化)等への影響を調べ、ローテーション間隔と環境負荷との関係性等を評価し、最適な再放牧時期を示す指標等を検討した。現場の熟練者等からのフィードバックをうけ、ローテーション時期の推定モデル等の更新を行った。モデルの検証および更新のため、現地にて草量の計測を3年間実施した。本業務を通して得られた課題と対策について整理・検討を行うと共に、放牧地ローテーションの自動通知実現に向けた、システムとモデルの検討を行った。目標値は「採取した地球観測画像データの分析並びに現地調査などを行い、草量を推定できる関係式を導き出す。草量と土壌動態との関連性の検証。」であった。評価指標は「関係性の開発(関係式等の高度推定)」であったが、画像データと現地で調査した草量の相関係数が0.85~0.90の関係が得られ(図4, 5)、冬季はその関係性が弱くなるものの、放牧シーズンである春から秋季までの関係式が構築され、画像による放牧地ローテーション指標に有効なアルゴリズム形成の基盤を得た(図6)。



Includes material © 2020~2021 Planet Labs Germany GmbH. All rights reserved.

図2. 地球観測衛星からの写真

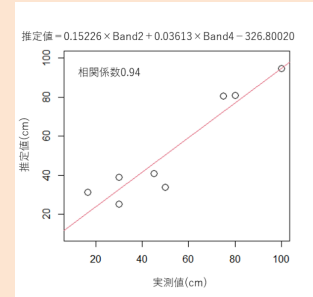


図4. 坪刈地点における牧草の草高と生草量の推定モデル



図3. 放牧地の坪刈りによる草地調査

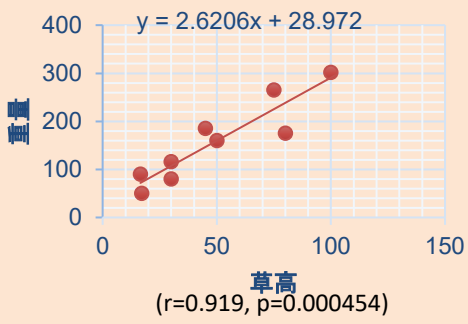


図5. 放牧地の牧草の高さと草重量の相関関係

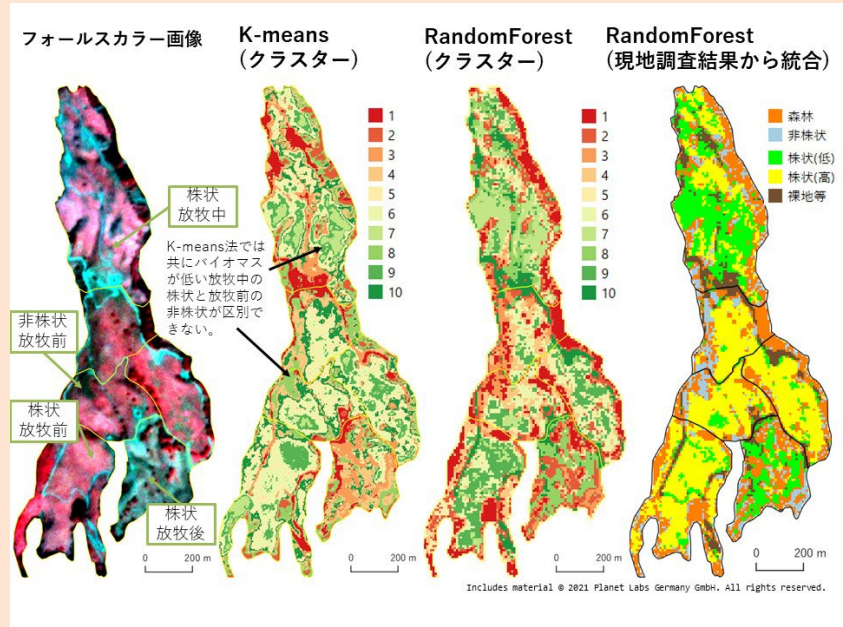


図6. 南阿蘇村の下牧牧野組合放牧地の分類結果。本研究で試験的に試行した機械学習(ランダムフォレスト)を適用した結果、放牧の状況を反映していると考えられる(断定はまだできない)被覆の状況を分類することができた。今後、放牧地における放牧中の状況や休牧牛の衛星データを蓄積し、AIによる解析などでさらに詳細な解析が可能となり、放牧地の状況を把握できる可能性が見られた。



# ② 「高精度測位による各放牧牛個体の行動歴や運動量の把握と評価」

## 実施内容・成果

牛個体にセンサーを装着し、測位衛星システムのデータによる放牧牛の測位とリモートセンシングデータによる放牧地の状況分析との連携による、放牧牛の運動量推定と評価を行った(図7)。それによる最適な補助飼料給与システムの最適化に必要な要件、および、これらのデータをもとに精度の高い飼養やアニマルウェルフェアを評価した。インプラント体温データより、牛の消費エネルギー等の推定値等も加味して、衛星でセンシングされた牛の行動を飼養の面、あるいはアニマルウェルフェア等の評価モデルを構築した(図8)。目標地は「放牧牛の自動飼養に必要な牛の行動履歴や運動量に対応した高精度測位機能や牛の体調計測機能に応じたセンサーの試作品を開発し、放牧牛に一定期間装着することでその妥当性を評価する。」であった。評価指標は「有効な放牧牛センサーの開発」であったが、開発完成にはバッテリーシステムの問題が今後の課題として残ったが、放牧牛に有効なセンサーは選択された。目標値は「取得した地球観測衛星データと測位衛星データ、また、牛の体調計測データなどを活用し、設計した自動飼養システムに必要なモニタと飼養が可能かどうか検証する。」であった。評価指標は、「自動飼養システムプロトタイプの開発」であったが、志布志市の耕作放棄地にて耕作放棄地放牧地用の個体識別できる遠隔自動給餌機プロトタイプが開発された。

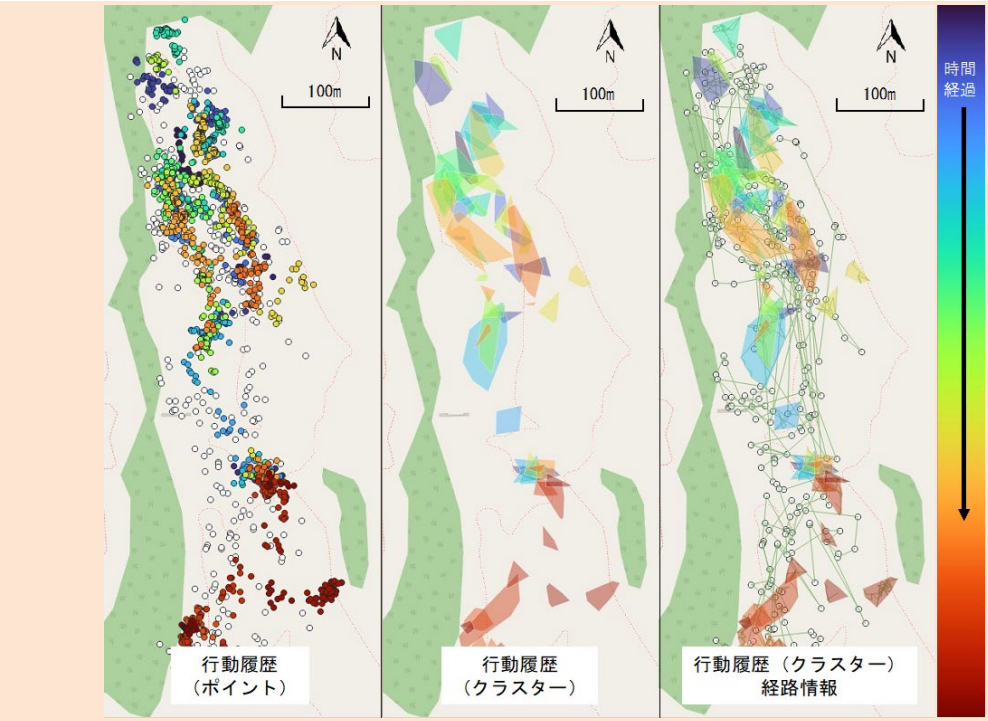


図7. 放牧牛の行動履歴のクラスター分析結果  
 その元となる行動履歴のポイントデータ(図左)、クラスター分類結果に移動経路情報を追加した結果(図右)を示す。ポイントやクラスターの色は、00:00を基点とした時間経過によるグラデーションを示しており、白色はクラスターとして分類されなかった点である。移動履歴のポイントデータからクラスターを生成することで、一定時間に留まる移動範囲とそれ以外を分類することができるため、放牧牛が一定範囲内にとどまっているのか、あるいは別の場所に移動しているのかを判別することが可能となる。

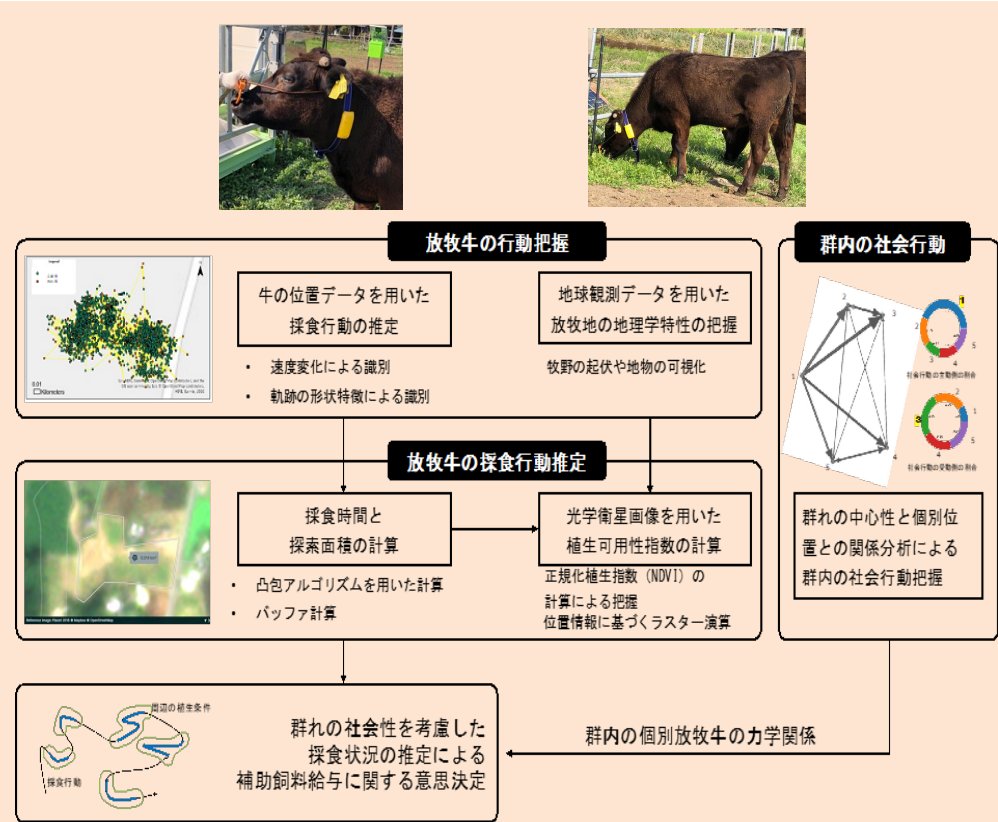


図8. センサーの装着された牛(上写真)と牛の行動評価モデルの構築(下図)。

# ③ 「自動飼養システム構築のためのデータ蓄積と活用性検証」

## 実施内容・成果

地球観測衛星と測位衛星のデータによる放牧地の草量管理システムと放牧牛の行動量などのモデルを統合する検討を行い、クラウドにて、放牧牛個体の必要給餌量等を算出し、個体管理モデル等を想定した実証試験を行った。それにより自動飼養システムモデルを実証試験し(図9)、更に社会実装へ向けシステム間のマッチングを検証した(図10)。5Gを見据えた、放牧地に設置されたモバイルカメラ等によるリアルタイムの放牧地や放牧牛の画像等の大容量データを取得し、それらのデータも個体の行動パターンや採食パターン解析等に加味して、行動とセンシングデータの相互関係を解析し、来たる5G時代に対応できるように準備した。目標値は「成果の定期的な公開を行うと共に、毎年少なくとも1回以上、宇宙利用技術の畜産への活用の知見を公開する。」であった。評価指標は「成果発表関連のイベント開催」であった。本課題期間中に、ワークショップ3回、公開シンポジウム3回開催、研究発表は3回実施、マスコミには、新聞に4回掲載、BS放送で1回、ラジオ4回、テレビに6回、うち1回は国際放送(NHK International)にも取り上げられた。以上、成果発表関連のイベントを開催し、研究者や農家の理解を得て、本課題をアピールするとともに、マスコミにも多数取り上げられ、国民の本技術に関する関心の深さを知るとともにその普及への可能性を感じた。



図9. 個体識別遠隔自動給餌機  
全貌(上図)とウシを捕獲した時の様子(下図).

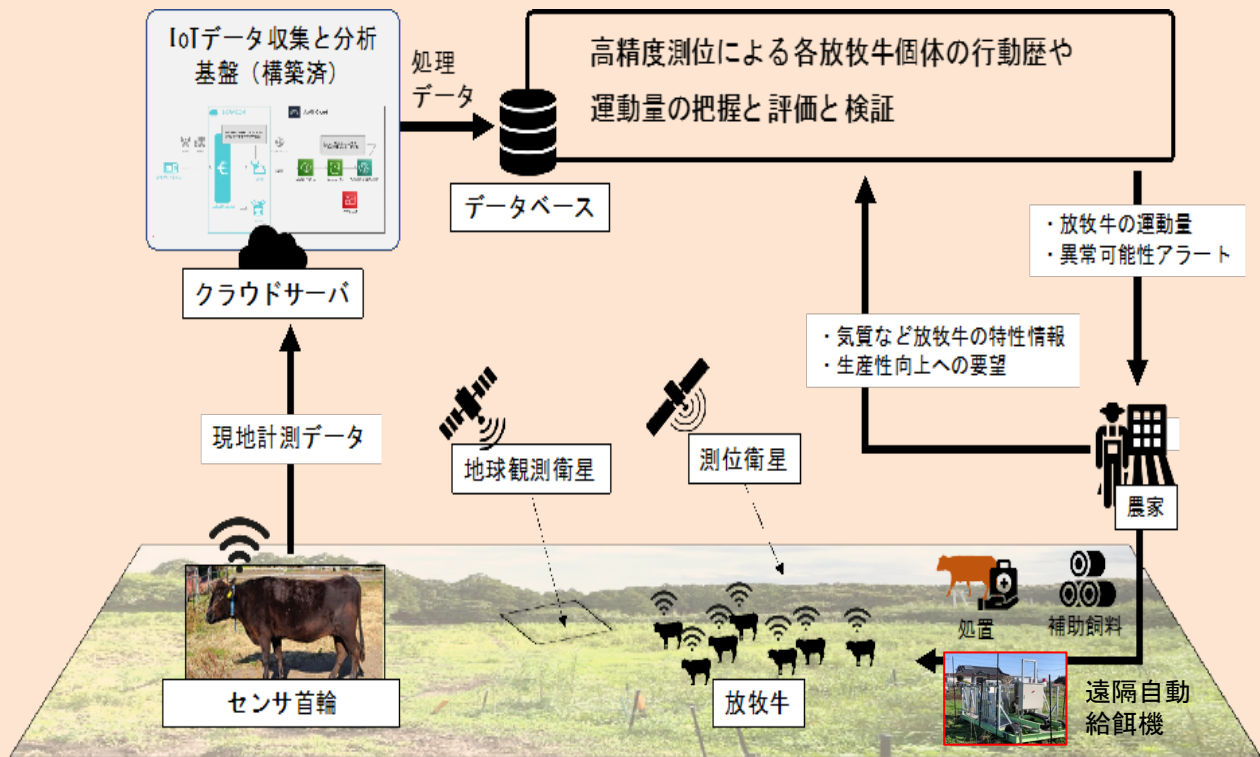


図10. 本課題による補助飼料給与システムのイメージ。  
補助飼料を自動給餌機で給与する。



# ④ 「アウトリーチ活動」

## 実施内容・成果

実証地での実験機会等にメディア（新聞社等）へ取り組み内容を紹介した。また、研究者や実業者等を集めたイベント（ワークショップ等）を開催し、本委託業務で構築する自動飼養システムや関連技術等を広く周知し、技術応用についても広く探索した。さらに、業務成果を国内外の畜産業へ応用する可能性を探るため、畜産を研究対象とする研究者のネットワーク等を活用するとともに、アカデミックな側面から技術の高度化に貢献する人材育成等にも考慮して広報した。社会還元に向けて連携可能性のある地域の畜産文化や生産方法、開発技術との親和性等および費用対効果についても調査した。目標値は「成果の定期的な公開を行うと共に、毎年少なくとも1回以上、宇宙利用技術の畜産への活用の知見を公開する。」であった。評価指標は「成果発表関連のイベント開催」であった。本課題期間中に、ワークショップ3回、公開シンポジウム3回開催(図11)、研究発表は3回実施、マスコミには、新聞に4回掲載(図13)、BS放送で1回、ラジオ4回、テレビに6回、うち1回は国際放送（NHK International）にも取り上げられた(図12)。以上、成果発表関連のイベントを開催し、研究者や農家の理解を得て、本課題をアピールするとともに、マスコミにも多数取り上げられ、国民の本技術に関する関心の深さを知るとともにその普及への可能性を感じた。



図11. 公開シンポジウム「宇宙牛プロジェクト:宇宙テクノロジーで拓く畜産の現状とポテンシャル」シンポジウムの様子. 東京都日本橋の宇宙ビジネス拠点X-NIHONBASHI TOWERにて令和5年2月22日に開催.



図12. NHK 国際放送(NHK international)での放送。(令和4年7月14日放送)



図13. 大分合同新聞(令和4年8月22日掲載)と信濃毎日新聞(令和4年8月23日掲載)における記事.



# 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 : 0 国際 : 1	国内 : 9 国際 : 0	国内 : 1 国際 : 0	国内 : 8 国際 : 1	国内 : 3 国際 : 0
	受賞・表彰リスト		なし。			

## 成果展開の状況・期待される効果

牛を限界集落や耕作放棄地にて放牧飼養で飼うための、宇宙技術とIoT技術により、**測位センサー基盤、リモートセンシングによる放牧地の草量のアルゴリズム、耕作放棄地での個体識別遠隔自動給餌機のプロトタイプ、及び統合システム基盤**の4つの基盤技術が構築された。本課題開始から現在までに、マスコミにおいて**新聞に4回掲載、BS放送で1回、ラジオ4回、テレビに6回、うち1回は国際放送（NHK International）にも取り上げられた。**これらのことは、本課題への国民の関心の深さを確信した。また、本課題の高度化のための予算が、新たに生研支援センター事業のオープンイノベーション研究・実用化推進事業の中の開発研究ステージの開発重要政策タイプで採択されたことは、本課題の成果が認められているものと確信している。今後しっかりとパッケージングし、社会実装することが期待される。

## 今後の研究開発計画

本課題で①地球観測衛星データによる放牧地の草量、土壌動態と放牧牛の関係性の評価システム、②高精度測位による各放牧牛個体の行動歴や運動量の把握と評価システム、及び③自動飼養システム構築のためのデータ蓄積と活用システムがの基盤が構築された。畜産の現状は、輸入飼料価格高騰から、経営が困難となっており、放牧型畜産経営の普及が求められている。本研究課題をさらに、高度化するために令和5年度より、農研機構生研支援センターの「オープンイノベーション研究・実用化推進事業（開発研究ステージ（開発重要政策タイプ）」に採択され、「放牧基盤型飼養のためのIoTと宇宙技術による戦略的スマート畜産技術の開発」という研究テーマを継続していく。この事業を通して、最終的に本技術の社会実装と畜産の変革を目指す。



図14. 放牧地ローテーション後、耕作放棄地放牧地の南側牧区に下りてきたセンサーを装着した実験牛の食草風景



# 事後評価票

令和5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 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
3. 主管実施機関・研究代表者 国立大学法人鹿児島大学非常勤講師 後藤貴文
4. 共同参画機関 学校法人 慶應義塾、国立大学法人北海道大学
5. 事業期間 令和2年度～令和4年度
6. 総経費 59.4百万円
7. 自己点検結果
(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  本提案は、中山間地域や離島などの過疎地の活性を念頭に人工衛星による地球観測や高精度測位から得られるデータによって放牧地や放牧牛の行動履歴や運動量をモニタ可能な自動飼養システムを構築することが目的である。放牧地の適切な活用や各放牧牛の状態に応じた補助飼料供給や遠隔飼養が可能になり、牛肉生産の飛躍的な省力化に寄与できる。 本提案では、主管実施機関が開発した草肥育でも牛の産肉性を飛躍的に向上させる代謝プログラミング技術を活用する。また、農業法人と連携し、実際の耕作放棄地を放牧地とし、実際の放牧牛を対象に提案システムの有効性検証を実施する。なお、システムの構築は以下の手順で実施する。 ①地球観測衛星データを利用した放牧地の放牧牛採食による草量変化、土壌微生物や土壌栄養バランス等の動態及び放牧地と放牧牛採食の関係性評価 ②高精度測位機能や体調モニタ機能を具備したセンサを牛に装着し、測位衛星データを利用した放牧牛の行動履歴や運動量、体調の変化の把握と評価 ③2つの成果を踏まえ、それらを統合し、通信機能やデータ分析機能を含めた自動飼養システムの設計と実際の放牧地・放牧牛による有効性検証。  ◆ 達成度 以下の4つの項目について実施し、それらの結果をそれぞれ記載する。

① 地球観測衛星データによる放牧地の草量、土壌動態と放牧牛の関係性の評価と検証

地球観測衛星の放牧地画像データを収集し、放牧地の草量変化、土壌微生物や土壌栄養バランス変化や放牧牛の採食との関係について解析した。また、実際に地球観測衛星データから放牧地ローテーションの時期を推定し、推定した情報に従い、放牧地のローテーションを行い、実務に耐えうるかを実証した。放牧地のローテーションによる土壌動態（土壌に含まれる微生物や栄養素やそれらのバランス等の時間変化）等への影響を調べ、ローテーション間隔と環境負荷との関係性等を評価し、最適な再放牧時期を示す指標等を検討した。現場の熟練者等からのフィードバックをうけ、ローテーション時期の推定モデル等の更新を行った。モデルの検証および更新のため、現地にて草量の計測を3年間実施した。本業務を通して得られた課題と対策について整理・検討を行うと共に、放牧地ローテーションの自動通知実現に向けた、システムとモデルの検討を行った。

② 高精度測位による各放牧牛個体の行動歴や運動量の把握と評価と検証

牛個体にセンサーを装着し、測位衛星システムのデータによる放牧牛の測位とリモートセンシングデータによる放牧地の状況分析との連携による、放牧牛の運動量推定と評価を行った。それによる最適な補助飼料給与システムの最適化に必要な要件、および、これらのデータをもとに精度の高い飼養やアニマルウェルフェアを評価した。インプラント体温データより、牛の消費エネルギー等の推定値等も加味して、衛星でセンシングされた牛の行動を飼養の面、あるいはアニマルウェルフェア等の評価モデルを構築した。

③ 自動飼養システム構築のためのデータ蓄積と活用性検証

これまで得られた地球観測衛星と測位衛星のデータによる放牧地の草量管理システムと放牧牛の行動量などのモデルを統合する検討を行い、クラウドにて、放牧牛個体の必要給餌量等を算出し、個体管理モデル等を想定した実証試験を行った。それにより自動飼養システムモデルを実証試験し、更に社会実装へ向けてシステム間のマッチングを検証した。5Gを見据えた、放牧地に設置されたモバイルカメラ等によるリアルタイムの放牧地や放牧牛の画像等の大容量データを取得し、それらのデータも個体の行動パターンや採食パターン解析等に加味して、行動とセンシングデータの相互関係を解析し、来たる5G時代に対応できるように準備した。

④ アウトリーチ活動

実証地での実験機会等にメディア（新聞社等）へ取り組み内容を紹介した。また、研究者や実業者等を集めたイベント（ワークショップ等）を開催し、本委託業務で構築する自動飼養システムや関連技術等を広く周知し、技術応用についても広く探索した。さらに、業務成果を国内外の畜産業へ応用する可能性を探るため、畜産を研究対象とする研究者のネットワーク等を活用するとともに、アカデミックな側面から技術の高度化に貢献する人材育成等にも考慮して広報した。社会還元に向けて連携可能性のある地域の畜産文化や生産方法、開発技術との親和性等および費用対効果についても調査した。



## 「必要性」

畜産現場の現状は、牛舎内での加工型畜産における過度な輸入飼料への依存（約9割）しているが、新型コロナウイルス感染症の拡大のため、サプライチェーンが寸断され輸入が困難になるなど飼料の自給率向上が望まれている。今後の気候変動や資源枯渇を考慮すると海外からの輸入飼料に過度に依存するのは極めて危険である。また、飼料の90%を輸入に依存しているが、大量の飼料輸入は、その運搬において温室効果を高めている。さらにロシアのウクライナ侵攻で穀物相場がかく乱され高騰する輸入飼料価格に翻弄される国内の畜産農家の経営は困難を極めている。その他、循環不可の過剰糞尿処理、BSE等の食の安全、脂肪過多牛肉志向で硬直したマーケット、さらに集約的飼養によるアニマルウェルフェア等、多くの問題を抱える。

本来、牛は、草食動物であり、ヒトやブタ、ニワトリが利用できない植物資源を牛肉や牛乳といったタンパク質に変化して提供してくれる貴重な経済動物である。現在のように1頭の和牛に5.5トンもの穀物飼料を与えることは、草食動物に穀物を与え過ぎているという意味でフードロスでもある。日本地方には、耕作放棄地、限界集落などに植物資源が豊富に残されており、そのような場所での放牧牛の飼養は、日本の食料安全保障、特にタンパク質生産にとって重要で持続的な戦略であり、社会的・経済的意義は大きい。海外からの食肉や家畜用の飼料が何らかの理由で輸入できない状態が発生しても地方での放牧飼養において、日本人は飢えることがないだろう。一方で放牧牛の飼養は、粗放的になり、個体の管理ができないことからビジネスとしても安定しない。今度、人口が減少する我が国で、農業を担うのはZ世代、いわゆるデジタル世代である。本事業では、放牧牛の飼養を宇宙技術やIoTを用いて、最終的にはエンドユーザーのスマートフォンやタブレット等による自動化し畜産をビジネスとしても安定させるものであり、科学的・技術的に意義が大きい。日本のような傾斜地の多い耕作放棄地や草原における宇宙技術による測位や放牧地管理技術、また遠隔自動給餌機の開発は、他に見られず、独創的で先導的な研究と言える。

現在、霜降り肉の生産は、全国的に上物率（A-4, A-5等級）が生産の8割を超えようとしている。すなわち、高価な霜降り牛肉はマーケットにおいて、過剰になりつつある。しかし、消費者の嗜好性は赤身肉に向いており、また霜降り肉は、高価であり、多くの消費者は購入が難しい現状がある。輸入飼料に依存した高価な霜降り肉生産は、一定のレベル、例えば3割程度に押さえて、黒毛和牛の放牧により地方の農地と景観を守り、国民のためのテーブルミートを生産するために、今後国を担うデジタル世代の若者に、放牧牛を宇宙技術やIoTを用いて持続的に管理してもらうことが必要になると想定する。現在の輸入飼料に依存した加工型畜産方式は、輸入飼料価格の高騰により、多くの畜産農家が廃業に追い込まれつつある。国が関与し、牛舎内の飼養と、地方での宇宙技術やIoTを活用した放牧牛の生産という2本柱でのそれらの最適な割合による施策にシフトしていくことが緊急に必要な方向性であると確信する。

## 「有効性」

本事業では、放牧牛の飼養における宇宙技術の活用、特に放牧牛への測位衛星データの活用と、牛が放牧される放牧地における地球観測衛星データの活用し、両衛星データを活用した。両衛星のデータが放牧牛飼養というテーマで活用され、統合されたことは、放牧畜産技術開発における宇宙技術の有効性を示す。それらのデータを元に、IoTを活用した個体識別できる遠隔自動給餌機を用いた補助飼料給与、さらにそれらをすべてスマートフォン等の端末で制御できるようにした仕組みは、新しい知の創出と言える。また、輸入飼料価格の著しい高騰で、経営が困難となっている畜産業界において、これまでの牛舎における大量の穀物給与に固定化された固定化された畜産経営を払拭して、多様な畜産形態、放牧牛飼養、特に宇宙技術やIoTも取り入れた新しい持続的な畜産経営が普及できるような行政施策を期待する。本事業で、また本事業のアウトリーチにおいて、多くのマスコミからも3年という短い期間に取り上げられ、多くの関心をもっていただき、社会実装のモデルとなり得る可能性の一端を示すことができた。これらのことから本課題は有効性が高い事業であったと確信している。

## 「効率性」

本課題は、鹿児島大学で、牛放牧による牛肉生産研究の専門家の後藤貴文が研究代表者として、地球観測衛星のデータによる放牧地のバイオマス解析を鹿児島大学と北海道大学で土壌環境が専門の内田義崇が分担、測位衛星のデータ活用による放牧牛の測位、行動や行動量の把握研究に関しては、慶應義塾の神武直彦、及び小高暁が担当した。これらの測位と放牧地のバイオマスデータを統合するための遠隔自動給餌機の開発については、鹿児島大学の後藤貴文が担当した。また、そのフィールドには、九州地方の放牧のメッカともいえる熊本県阿蘇郡の下碓牧野組合にご協力いただき、データを取得した。さらに、2019年より牛肉生産に参入された鹿児島県志布志市の株式会社さかうえにご協力いただき耕作放棄地の放牧場でのデータを取得させていただいた。これらのフィールドを用いて、地球観測衛星のデータによる放牧地のバイオマス解析におけるアルゴリズムのモデルを1つ構築できた。また、測位衛星のデータ活用による放牧牛の測位、行動や行動量の把握研究において、広大な面積の放牧地での牛の動態のパターンを南阿蘇にて1パターン、また行動と活動量の関係性を志布志市にて1パターン解析することができた。遠隔自動給餌機の開発と統合試験は、志布志市にて実施することができた。本課題実施期間において、新型コロナウイルスのパンデミックにより一部活動できない時期もあったが、実施体制の全メンバーの協力体制により、事業は効率的に遂行された。



## (2) 成果

### 「アウトプット」

#### ① 地球観測衛星データによる放牧地の草量、土壌動態と放牧牛の関係性の評価と検証

目標値は「採取した地球観測画像データの分析並びに現地調査などを行い、草量を推定できる関係式を導き出す。草量と土壌動態との関連性の検証。」であった。評価指標は「関係性の開発（関係式等の高度推定）」であったが、画像データと現地で調査した草量の相関係数が0.85~0.90の関係が得られ、冬季はその関係性が弱くなるものの、放牧シーズンである春から秋季までの関係式が構築され、画像による放牧地ローテーション指標に有効なアルゴリズム形成の基盤を得た。

#### ① 高精度測位による各放牧牛個体の行動歴や運動量の把握と評価と検証

目標地は「放牧牛の自動飼養に必要な牛の行動履歴や運動量に対応した高精度測位機能や牛の体調計測機能に応じたセンサーの試作品を開発し、放牧牛に一定期間装着することでその妥当性を評価する。」であった。評価指標は「有効な放牧牛センサーの開発」であったが、開発完成にはバッテリーシステムの問題が今後の課題として残ったが、放牧牛に有効なセンサーは選択された。

#### ② 自動飼養システム構築のためのデータ蓄積と活用性検証

目標値は「取得した地球観測衛星データと測位衛星データ、また、牛の体調計測データなどを活用し、設計した自動飼養システムに必要なモニタと飼養が可能かどうか検証する。」であった。評価指標は、「自動飼養システムプロトタイプの開発」であったが、志布志市の耕作放棄地にて耕作放棄地放牧地用の個体識別できる遠隔自動給餌機プロトタイプが開発された。

#### ③ アウトリーチ活動

目標値は「成果の定期的な公開を行うと共に、毎年少なくとも1回以上、宇宙利用技術の畜産への活用の知見を公開する。」であった。評価指標は「成果発表関連のイベント開催」であった。本課題期間中に、ワークショップ3回、公開シンポジウム3回開催、研究発表は3回実施、マスコミには、新聞に4回掲載、BS放送で1回、ラジオ4回、テレビに6回、うち1回は国際放送（NHK International）にも取り上げられた。以上、成果発表関連のイベントを開催し、研究者や農家の理解を得て、本課題をアピールするとともに、マスコミにも多数取り上げられ、国民の本技術に関する関心の深さを知るとともにその普及への可能性を感じた。

### 「アウトカム」 (令和5年10月末時点)

牛を限界集落や耕作放棄地にて放牧飼養で飼うための、宇宙技術とIoT技術により、測位センサー基盤、リモートセンシングによる放牧地の草量のアルゴリズム、耕作放棄地での個体識別遠隔自動給餌機のプロトタイプ、及び統合システム基盤の4つの基盤技術が構築された。本課題開始から現在までに、マスコミにおいて新聞に4回掲載、BS放送で1回、ラジオ4回、テレビに6回、うち

1回は国際放送（NHK International）にも取り上げられた。これらのことは、本課題への国民の関心の深さを示している。また、本課題の高度化のための予算が、新たに生研支援センターで採択され、オープンイノベーション研究・実用化推進事業の中の開発研究ステージの開発重要政策タイプで取り上げられたことは、本課題の成果が認められているものと確信している。

### （3）今後の展望

本課題で①地球観測衛星データによる放牧地の草量、土壌動態と放牧牛の関係性の評価システム、②高精度測位による各放牧牛個体の行動歴や運動量の把握と評価システム、及び③自動飼養システム構築のためのデータ蓄積と活用システムが構築された。畜産の現状は、輸入飼料価格高騰から、経営が困難となっており、放牧型畜産経営の普及が求められている。本研究課題をさらに、高度化するために令和5年度より、農研機構生研支援センターの「オープンイノベーション研究・実用化推進事業（開発研究ステージ（開発重要政策タイプ）」に採択され、「放牧基盤型飼養のためのIoTと宇宙技術による戦略的スマート畜産技術の開発」という研究テーマで継続し、本技術の最終的な社会実装と畜産の変革を目指す。

## 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げていない。

D) 成果はほとんど得られていない。

## 9. 評価理由

本事業は、衛星データを食品分野に利用するものであり、超小型衛星の光学画像を使った放牧地の草量の推定モデルの作成、衛星測位データを使った放牧牛個体の運動量とアニマルウェルフェアの評価モデルの作成、及び自動給餌機を含む自動飼養システムモデルの実証の3分野で将来の放牧型畜産実現に衛星データが貢献する可能性を示す社会的意義のある独創性の高い成果が得られたと評価できる。

自動飼養システム全体を捉え、必要な宇宙利用技術を見極めてそれぞれにおいて実現可能性を示す結果が得られたことは社会実装に向けてある程度前進したと考えられる。当初の目的を十分に達成しており総合的な観点からも良好な進捗であり、最終的には宇宙技術の放牧への活用という点で宇宙航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。

- エビデンスとなる現地調査データによる技術評価は十分とは言えず、採択された後継事業においてさらに検証を充実していくことを期待する。
- 全体によく組み立てられ個別技術の優れた開発成果は出ているが、システム全体の完成は未達である。今後は個々の計測データを統合し解析するアプリケーションの完成等、トータルシステムを用いた実証や実利用への展開において、システムを完成させ、できるだけ早い実用化とリーズナブルな価格設定により社会実装が進むことを期待する。
- 開発中のシステムは離島等を対象としているが、より広域へ適用できるシステムとすることを期待する。
- 目的とする過疎地活性化、アニマルウェルフェア、飼料高騰への対応は、理念として重要であるが、厩舎型畜産を主とする我が国畜産業の経営ニーズを直接に捉えているか継続的に吟味する必要があるとともに、親和性が高いと思われる欧米とアジアの畜産業への展開も見据え国際的なアピールを強化することを期待する。