

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15607

研究課題名（和文）機械学習を用いた飼料農地の生産マップ構築と酪農経営における最適作付け体系の導出

研究課題名（英文）Derivation of Optimal Cropping System for Dairy Farming: Constructing a Yield Map Using Machine Learning

研究代表者

佐藤 赳 (Sato, Takeshi)

東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・准教授

研究者番号：30756599

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：地域の農業支援組織の協力の下、専門スタッフによる牧草地の正確な植生調査のデータ取得やハイパースペクトルカメラで各草種・時期の詳細な分光反射特性の取得を行い、得られたデータを機械学習にて解析した結果、植生調査について、植生条件によっては97%の高い精度の分類が行うことができた。また機械作業効率の最適化のシミュレーションにおいて、作業時間を2割程度減らすことができる可能性が示されたほか、圃場の集約によって、さらに大幅に作業時間を節約しうることを数値的に示した。一方で、酪農家の家計ベースの経営経済データを、計量経済学的に分析し、酪農家の労働や生産性について考察を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

酪農業において安定的な自給飼料生産は極めて重要である。その中で、草地の管理は大きな課題となるが、植生調査や植生改善の効果の検証と経営データとの接合は容易ではない。本研究ではハイパースペクトルカメラやドローンを用い、機械学習を用いて植生の識別を行った。また、酪農の経営データと結びつけ、計量経済分析を行った。得られた成果を普及させることで、より簡便な圃場の植生の識別、圃場管理の方法が示される。それらの自給飼料生産・管理が酪農経営に与える影響を定量的に分析したことで、草地管理が酪農経営にとっても重要であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：With the cooperation of a local agricultural support organization, a professional staff member acquired accurate vegetation survey data of the pasture, and detailed spectral reflectance characteristics of each grass species and season were captured using a hyperspectral camera. The results of machine learning analysis on the collected data indicated that the vegetation survey could achieve high classification accuracy of up to 97% in certain vegetation conditions. Furthermore, a simulation of machine work efficiency optimization demonstrated the potential for reducing work time by approximately 20%, and numerically illustrated that work time savings could be even more substantial through plot consolidation. Concurrently, econometric analysis was conducted on household-based managerial economic data of dairy farmers to examine labor and productivity.

研究分野：農業経済学

キーワード：機械学習 ハイパースペクトル GIS 計量経済分析 酪農 牧草地

1. 研究開始当初の背景

酪農業において低コストな自給飼料の利用と生産は、食料自給率の観点からも長年重要視されてきた。しかしながら、飼料自給率は依然低く、生乳の主要産地である根釧地域では、飼料費の高騰もあり酪農家の経営規模拡大が鈍化していることが指摘されている。国際飼料価格が低下傾向にあった1990年まで、酪農家は経営判断として購入飼料に頼ってきたが、価格高騰が始まった1990年代以後も飼料生産は伸びず、購入飼料費は生産費全体の45%に上っていた。自給飼料を安定的に確保するには、牧草を植え替える草地更新や、輪作等の飼料農地管理が欠かせないとされている。しかしながら、自然科学分野では、雑草率や収量等の草地更新の改善効果が実農家・実圃場で検証されておらず、一方の社会経済分野では、農地管理の費用対効果の分析や、飼料生産管理を含んだ酪農家家計の経済分析が行われてこなかったという指摘もあった。自給飼料を基盤とした酪農経営を実現するためには、農地管理をふまえた酪農家経営の定量的分析が不可欠と考えられ、本研究計画において、特に生産面では、酪農業の圃場の管理や圃場の実際の植生と、経営とをマッチングさせたデータを整備し、その作業効率や生産効率を分析することとした。併せて、酪農家や消費者への聞き取り、アンケート調査によって、経営と併せて実際の酪農家経営の課題や、消費者の選好についても検討することとした。

2. 研究の目的

本研究計画は、農地の管理や投資が酪農経営へ与える影響や、酪農経営にとっての適切な飼料農地の利用方法について考察することを目的とする。より詳細には、農地管理の植生や収量への効果や、酪農家経営に与える影響を計量経済学的に分析し、他方で、酪農家や消費者へのアンケート調査とも併せて、酪農業における持続可能な圃場利用についての政策的な含意を得ることである。酪農業において、実験圃場を対象として研究においては、草地更新や作付けの転換(輪作など)で植生や収量が改善することが複数報告されているが、農家の実圃場での研究事例は限られている。草地更新を含めた農地管理について、まず圃場と経営のデータを自然科学・社会経済の両面から収集し、GIS上で一致させた上で統計的に分析を行うことで定量的な評価が可能となると考えられる。

学術的な独自性について、飼料農地の生産マップ作成とその酪農経営の影響評価を挙げることができる。本研究での対象地域では、草種毎の初期生育や枯れる早さの違いから、草種が識別可能という報告があり、それを生かして、本研究はハイパースペクトルカメラを用いて植生や植物種の違いの識別を行う。また、収穫作業そのものもGPSで追跡・記録し、圃場ごとにどの程度の収穫時間がかかるのかを計測することで、圃場の植生や地理的特徴、空間的分布による作業効率への影響についても検討を行う点でも独自性がある。例えば従来の農地の作付け選択は、100㎡や1kmなどのグリッド単位での広域の分析が主であったが、日本の農地利用・管理においては、より細かな区画単位での分析が適切である。以上のデータを酪農経営の労働投入や資本装備率のデータと接合することによって、これまでの農業経済分析の延長として、圃場単位のデータを分析し、酪農経営の効率化、生産性の向上や収益性についての考察を得ることができると考えられる。

3. 研究の方法

本研究の対象地域は北海道東部の酪農地帯である。まず、ハイパースペクトルカメラやドローン、衛星画像での植生観察と画像解析を行った。地域の農業支援組織の多大な協力のもと、植生調査への参加や同地点での5, 6, 10, 11月のハイパースペクトルカメラとマルチスペクトル衛星画像のデータ取得を行った。牧草地の草種は、チモシーやオーチャード、クローバーのほか、シバムギやメドウフォックステイルのような雑草が含まれる。これらのデータを機械学習を用いて識別することで、植生の良否や植物種を識別した。また、農業支援組織の協力の下でGPSで収穫作業時間や作業工程、収穫時期を把握した。圃場の植生や地理的条件と、作業時間を計測した。それらの要因と収穫量や労働時間との関係について、統計分析・計量経済分析を行い考察した。このとき、作業順の最適化による労働時間改善のシミュレーション分析も行った。さらに、酪農家に対して、酪農経営データを得たほか、追加のアンケート調査を行った。調査項目は、飼養頭数や労働力、資本装備、圃場管理や、牛群の管理、清掃、搾乳などの各種の労働時間、作業委託の有無や作業委託費用、ロボット搾乳等の新技術の導入状況等である。このデータと圃場のデータを結合し、農家の生産性について分析を行った。他方で、農家のアニマルウェルフェアやGAP制度の導入、新技術の導入等の質的な調査、消費者に対するアンケート調査も別途行った。最終的に、飼料用農地の植生や収量と作付け、農地管理、酪農経営データやアンケート調査結果について経済分析を行った。

4. 研究成果

画像解析や機械学習にかかる分析においては、農地区画の自動識別を独自に行い、また、トウモロコシ等の畑と牧草地、更新草地の識別を行った。オブジェクトベースの画像解析によって農地区画の識別を行い、それをマッチングさせることによって画像解析の正確性が向上し、計量経済分析においても有効なデータセットが作成できることを示した。また、5, 6, 10, 11月のハイパースペクトルカメラのデータを用いて、植生の良否や植物種を識別し、特に植生の良否について、97%という高い精度での識別することを示した。GPSによる作業効率についての分析しどのような作業機械の適切な配備による作業効率最適化のシミュレーションを行った結果、作業時間を2割程度減らすことができる可能性を示したほか、圃場の集約によって、さらに作業時間を半分程度に節約しうることを数値的に示した。また、圃場管理について、草地更新と呼ばれる永年牧草地の耕耘・すき込み・牧草播種作業に対する投資についてみると、飼養頭数一頭あたりの圃場面積が少ない酪農家の方が圃場への投資が行動が多く、それには空間的な波及効果があるという結果が得られている。現地での聞き取り調査のなかから、農家間でも草地管理の勉強会などが開かれるケースも多く、そのようなネットワークが草地管理の空間的な集約を生んでいる可能性もある。別途行った酪農家へのGAP制度導入調査においては、廃棄が減少し生産量が増大するならば、事務的な手間や申請の費用があったとしてもGAP制度申請に積極的であるということが示されている。そのほか、消費者にとっても、環境や労働において優れた取り組みをしている食品・農産物に対してより高い支払意思額が示されることが明らかになった。ただし、いずれの結果においても、労働時間や作業時間等のパラメータは有意かつインパクトが大きく、環境改善等の取り組み導入において、以下にしてその導入の作業的な障壁を取り除くことができるのが鍵となることが示された。さらなる研究成果については、現在も発表を準備しているところである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Gugereil Christina, Sato Takeshi, Hvitsand Christine, Toriyama Daichi, Suzuki Nobuhiro, Penker Marianne	4. 巻 11
2. 論文標題 Know the Farmer That Feeds You: A Cross-Country Analysis of Spatial-Relational Proximities and the Attractiveness of Community Supported Agriculture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Agriculture	6. 最初と最後の頁 1006 ~ 1006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agriculture11101006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Sano Yuki, Sato Takeshi, Kawasaki Kentaro, Suzuki Nobuhiro, Kaiser Harry M.	4. 巻 51
2. 論文標題 Estimating the degree of market power in the vegetable market in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Agricultural and Resource Economics Review	6. 最初と最後の頁 20 ~ 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/age.2021.12	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sato, T., Ogawa, S., Aizaki, H., Takahashi, T., Yamada, N., Nakashima, Y.	4. 巻 40(Supplement)
2. 論文標題 Novel Method for Correcting Land-Cover Misclassification in Mountainous Paddy Fields: a Case Study of the Honghe Hani Rice Terraces in Yunnan, China	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of The Remote Sensing Society of Japan	6. 最初と最後の頁 S19-S33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11440/rssj.40.S19	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 TORIYAMA Daichi, SATO Takeshi, SUZUKI Nobuhiro	4. 巻 27
2. 論文標題 Japanese Consumer Willingness to Pay for Community Supported Agriculture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Food System Research	6. 最初と最後の頁 238 ~ 243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5874/jfsr.27.4_238	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 KISHIMOTO Haruka、SATO Takeshi、SUZUKI Nobuhiro	4. 巻 27
2. 論文標題 An Analysis of Consumer Preferences for Fair Trade Bananas by Conjoint Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Food System Research	6. 最初と最後の頁 201 ~ 207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5874/jfsr.27.4_201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato Takeshi、Murakami Tomoaki、Nakashima Yasuhiro	4. 巻 29
2. 論文標題 Determinants of Cropping: Using Object-Based Remote Sensing Analysis to Construct Field Plot-level Polygon Panel Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Agricultural Information Research	6. 最初と最後の頁 14 ~ 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3173/air.29.14	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 谷口 裕香、佐藤 昶、川崎 賢太郎、鈴木 宣弘	4. 巻 95
2. 論文標題 情報供与が大豆ミート需要に与える影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 農業経済研究	6. 最初と最後の頁 47 ~ 52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11472/nokei.95.47	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 T. Sato, D. Toriyama and N. Suzuki
2. 発表標題 Which Interests Drive Consumers' Preference for Community-Supported Agriculture: A Choice Experiment with Members and Non-members in Japan
3. 学会等名 XVII Congress of the European Association of Agricultural Economists (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Murakami T. Ogura and T. Sato
2. 発表標題 Impact of Direct Payment under Changing Climate: A Spatial Regression Discontinuity Design Approach
3. 学会等名 The 67th Annual conference of Australasian Agricultural & Resource Economics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Sato and T. Murakami
2. 発表標題 Diffusion of Pasture Renovation Program in Japan: Multilevel Data Analysis Using Farmland Plot, Cultivator, and Community-level Data from Satellite Image Analysis
3. 学会等名 European Association of Agricultural Economics Congress 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Murakami, T. Ogura and T. Sato
2. 発表標題 Impact of Direct Payments on Cropping Patterns of Dairy Farmers: Evidence from Spatial Regression Discontinuity Design
3. 学会等名 日本農業経済学会 2022年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Sato, D. Toriyama C. Gugereil, C. Hvitsand, M. Penker and N. Suzuki
2. 発表標題 The incentive to participate in sustainable food production: A choice experiment with members and non-members of community supported agriculture
3. 学会等名 日本農業経済学会 2022年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳥山大地・佐藤起・鈴木宣弘
2. 発表標題 日本におけるCSAに対する消費者の支払意思額の測定 - CSA参加者を対象とした混合ロジットモデルによる推計 -
3. 学会等名 日本フードシステム学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岸本華果・佐藤起・鈴木宣弘
2. 発表標題 選択実験によるフェアトレードの消費者選好分析 情報提供と支払意思額の関係
3. 学会等名 日本フードシステム学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeshi Sato, Daichi Toriyama, Nobuhiro Suzuki
2. 発表標題 Willingness to pay for community supported agriculture: A choice experiment for CSA participants in Japan
3. 学会等名 The 11th International Sustainability Transitions Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷口 裕香、佐藤 起、川崎 賢太郎、鈴木 宣弘
2. 発表標題 情報提供が大豆ミート需要に与える影響
3. 学会等名 日本農業経済学会 2022年度大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------