

システム農学会 2023 年度大会 in 広島
シンポジウム・受賞講演・一般研究発表会

講演要旨集

現場目線からのスマート農業実践の可能性：
農業イノベーションの創出

2023 年 11 月 10 日(金)～11 日(土)

会場 広島大学 学士会館(〒739-8511 東広島市鏡山 1 丁目 3-2)

主催 システム農学会

共催 東広島市

システム農学会 2023 年度大会 in 広島 シンポジウム・受賞講演・一般研究発表会

開催日時 2023 年 11 月 10 日(金)～11 日(土)
開催場所 広島大学 学士会館(〒739-8511 東広島市鏡山 1 丁目 3-2)

第 1 日(11 月 10 日) Day 1 (November 11)

シンポジウム 現場目線からのスマート農業実践の可能性:農業イノベーションの創出

Symposium Potential of Smart Agricultural Practices from the Field's Perspective: Creating Agricultural Innovations

シンポジウム Symposium

14:00～14:05 開会挨拶

システム農学会会長 廣岡 博之(京都大学)

14:05～14:10 趣旨説明: 農業生産現場におけるイノベーション創出と普及

大会実行委員長 長命 洋佑(広島大学)

14:10～14:40 スマート農業の生産現場への導入可能性と課題

細野 賢治(広島大学)

14:40～15:10 農業者が使えるスマート農業技術の実装に向けた広島の取組み
～ひろしま型スマート農業推進事業(ひろしま seedbox)～

河下 誉(広島県農林水産局 農業経営発展課)

15:10～15:25 休憩 Refreshment/Networking

15:25～15:55 JA における営農販売事業 DX 化

橋本 孟治(JA ひろしま 広島中央地域本部 営農経済部 営農販売課)

15:55～16:15 農業生産者におけるスマート農業の取組み

沖 貴雄(農業生産者:(同)穴ファーム OKI 代表)

16:15～16:20 レイアウト変更

16:20～17:30 総合討論

17:30 閉会 Closing

第 2 日(11 月 11 日) Day 2 (November 11)

一般研究発表会 Oral Presentation

8:30～9:30 座長: 松村 寛一郎(東京農業大学生物産業学部)

[A 会場] Chair: Prof. Kanichiro Matsumura

(Faculty of Bio-Industry, Tokyo University of Agriculture,)

A01 日本の稲作経営におけるエネルギー効率と経営規模

○松原伶奈(北大院農)・赤堀弘和(北大農)・日田アトム(農林水産政策研)
・澤内大輔(北海商科大商)・増田清敬(滋賀県立大環)・山本康貴(北大農)

A02 離散フーリエ変換を用いた表面構造の解析についての検討

一圃場の不陸量の評価を例にして一

○天川優輝・岩崎亘典(農研機構)

- A03 Using the Bayesian approach to quantify the impact of soil silicon availability on rice yield and quality in a Japanese mountainous region
 ○Umami Marfuah (Grad. Sch. Nat. Sci. Technol., Gifu Univ.), Jingyun He (UGSAS, Gifu Univ.), Kazuki Kojima (Grad. Sch. Nat. Sci. Technol., Gifu Univ.), Tsutomu Matsui and Takashi S. T. Tanaka (Fac. Appl. Biol. Sci., Gifu Univ.)
- A04 The effects of a cross-validation approaches on the model transferability of a soybean yield prediction model using UAV-based remote sensing
 ○Luthfan Nur Habibi (UGSAS, Gifu Univ), Tsutomu Matsui and Takashi S. T. Tanaka (Fac. Appl. Biol. Sci., Gifu Univ., Japan)

9:30~9:45 休憩 Refreshment/Networking

9:45~10:45 座長: 米澤 千夏(東北大学大学院農学研究科)

[A 会場] Chair: Assoc. Prof. Chinatsu Yonezawa (Faculty of Agriculture, Tohoku University)

- A05 Evaluating potential of Fourier transform infrared spectroscopy and machine learning approaches to predict soil pH and mineralizable nitrogen
 ○Jingyun He (UGSAS, Gifu Univ.), Tsutomu Matsui and Takashi S. T. Tanaka (Fac. Appl. Biol. Sci., Gifu Univ.)
- A06 UAV センシングによる白ネギの生育診断モデルの確立
 ○小池美星・渡邊 修(信州大)
 ・鮎沢純子・田牧卓真・矢口直樹(長野県野菜花き試験場)
- A07 ドローンから衛星へ: 北海道の採草地におけるドローン空撮画像の草量推定
 ○大越証路・川村健介(帯畜大)・田中常喜(道総研酪農試)
 ・安田泰輔(山梨富士山研)・三枝俊哉(酪農大)
 ・須藤賢司・八木隆徳(農研機構北農研)・林 志炫(農研機構農環研)
- A08 災害時における準天頂衛星を用いた UAV による農業の潜在的脆弱性に対するレジリエンスフレームワーク
 ○笠原幹大・長谷川克也(宇宙航空研究開発機構)

10:45~11:00 休憩 Refreshment/Networking

11:00~12:00 座長: 田中 樹(摂南大学農学部食農ビジネス学科)

[A 会場] Chair: Prof. Ueru Tanaka (Faculty of Agriculture, Setsunan University)

- A09 光学衛星による可変基肥適地評価と馬鈴薯の施肥最適化の実現
 ○山田真子・菊池裕介(日本電気株式会社)
- A10 給与飼料の違いが反芻家畜の採食行動や自律神経活動に与える影響
 ○外山尚典・大石風人・児島優稀・大西康介・熊谷元・広岡博之(京都大院農)
- A11 肉用牛の心臓動計測に向けたピーク検出法の開発
 ○福島嵩彬(三重大院生資)・兒嶋朋貴(農研機構畜産部門, 愛知農総試)
 ・大石風人(京都大院農)・松尾直樹・森尾吉成・村上克介・内藤啓貴(三重大院)
- A12 テキストマイニングで「システム農学」の研究動向を探る
 ○川村健介(帯畜大)

12:00~13:00 昼食 Lunch

- 13:00～14:00 総会・奨励賞・優秀発表賞(北村賞)表彰式
 受賞講演 衛星データを活用した東日本大震災による植生変化の把握
 (奨励賞) 成澤 朋紀(岩手大)
- 14:00～15:15 座長: 酒井 徹(国際農林水産業研究センター)
 [A 会場] Chair: Dr. Toru Sakai (Japan International Research Center for Agricultural Sciences)
- A13 Rice yield prediction using UAV-based multispectral imagery and weather data through multimodal deep learning
 ○Md Suruj Mia (UGSAS, Gifu Univ.), Ryoya Tanabe (Grad. Sch. Nat. Sci. Technol., Gifu Univ.), Luthfan Nur Habibi (UGSAS, Gifu Univ.), Naoyuki Hashimoto (Fac. Agric. Marine Sci., Kochi Univ.), Koki Homma (Grad. Sch. Agric. Sci., Tohoku Univ.), Masayasu Maki (Fac. Food Agric. Sci., Fukushima Univ.), Tsutomu Matsui, and Takashi S. T. Tanaka (Fac. Appl. Biol. Sci., Gifu Univ.)
- A14 Establishing a web-application platform for data visualization to enhance collaboration between researchers and farmers
 ○Chen Dai (Grad. Sch. Nat. Sci. Technol., Gifu Univ.), Tsutomu Matsui・Takashi S. T. Tanaka (Fac. Appl. Biol. Sci., Gifu Univ.)
- A15 水稻の生育調査におけるドローンリモートセンシングと地上計測との関係
 ○柴谷一弘・齋藤毅(コニカミノルタ)
 ・金谷寛子・前田周平・妹尾知憲(岡山農林水産総合センター)
- A16 筆ポリゴンを活用した秋播き小麦ブロックローテーションの作付け状況の経年的把握
 ○國井大輔・日田アトム・船津崇(農林水産政策研究所)・四方涼平(農林水産省)
- A17 衛星リモートセンシングによる作物生育状況判定のためのリファレンス生育曲線の検討
 ○菊池裕介・山田真子(日本電気株式会社)
- 14:00～15:15 座長: 渡邊 修(信州大学農学部)
 [B 会場] Chair: Assoc. Prof. Osamu Watanabe (Faculty of Agriculture, Shinshu University)
- A18 ハイパースペクトルカメラによるイネ玄米種子から分離される黄色細菌の識別
 高井裕一郎・○上松寛・松浦貴之(横浜植防)
- A19 イネ玄米種子の病原糸状菌 3 属の胞子を識別する AI の試作
 ○松山美優・上松寛・本蔵洋一・松浦貴之(横浜植防)
- A20 ブドウ栽培管理のロボット化に向けた開花状況判断技術の開発
 ○吉利怜奈(農研機構ロボ研)・杉浦裕義(農研機構果茶研)
- A21 深層学習を用いた雑草識別に関する研究
 ○塩崎賢悟・神田英司(鹿児島大農)
- A22 富士北麓におけるニホンジカの生態観測ネットワークの構築
 ○安田泰輔・中村圭太・水村春香(山梨富士山研)
 ・中山智絵(グリーン航業株式会社)・高田隼人(農工大)・渡邊 修(信州大)
- 15:15～15:30 休憩 Refreshment/Networking

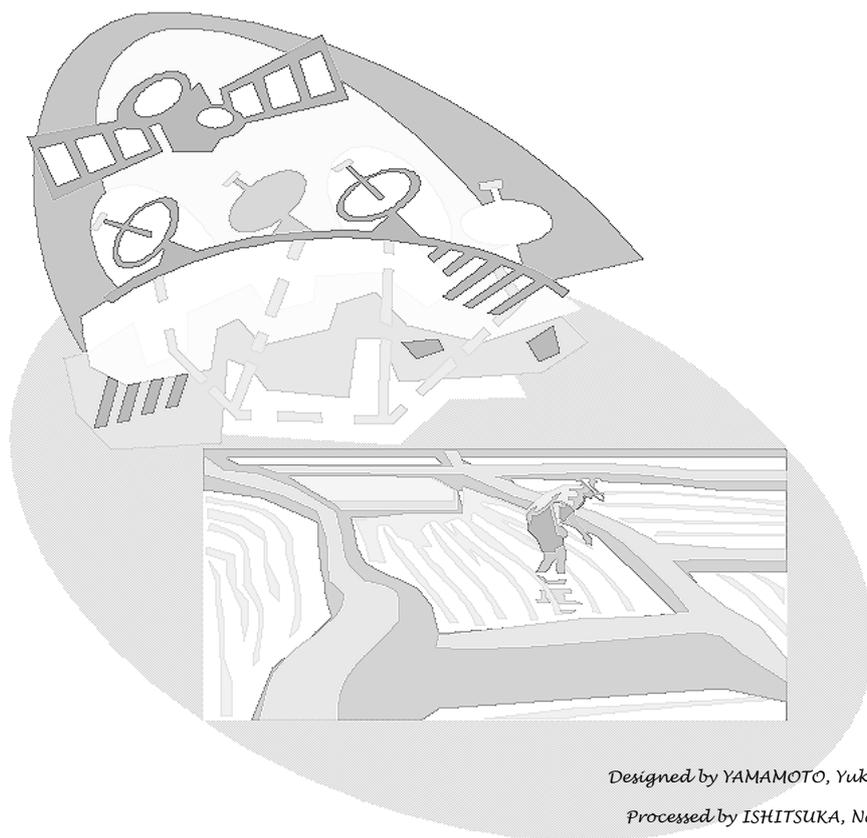
- 15:30～16:45 座長: 田中 貴(岐阜大学応用生物科学部)
 [A 会場] Chair: Assoc. Prof. Takashi Tanaka
 (Faculty of Applied Biological Sciences, Gifu University)
- A23 樹種分類への WorldView-3 の短波長赤外波長帯の利用
 ○米澤千夏・鈴木汐音(東北大院農)
 ・村田裕樹(東大先端研)・竹島喜芳(中部大)
- A24 ドローンから衛星へ: 北海道の採草地におけるドローン空撮画像の植生分類
 ○川村健介・大越証路(帯畜大)・田中常喜・秋山雄希(道総研酪農試)・岡元英
 樹・二門 世(道総研天北支場)・安田泰輔(山梨富士山研)
- A25 北海道の採草地におけるイネ科草種判別に適した UAV 撮影時期の検討
 ○田中常喜(道総研酪農試)・板垣英佑(道総研北見農試)
 ・岡元英樹(道総研天北支場)・秋山雄希・牧野 司(道総研酪農試)
 ・二門 世(道総研天北支場)
- A26 Planet 衛星画像を用いたミャンマー山岳地域の焼畑エリアの検出
 ○渡邊 修(信大農)・柴田京子(NPO 法人地球市民の会)
- A27 衛星高度計を用いたカンボジアにおける洪水氾濫原の水位変化
 ○酒井 徹・張 可(国際農研)・Thav Sopheak(カンボジア王立農大)
 ・飯泉仁之直・眞崎良光(農研機構)・大吉慶(JAXA)
- 15:30～16:45 座長: 三輪 雅史(農研機構畜産研究部門)
 [B 会場] Chair: Dr. Masafumi Miwa
 (Institute of Livestock and Grassland Science, NARO)
- A28 アミノ酸バランス改善飼料を用いた採卵鶏の GHG 排出量評価
 ○瀬戸口暁・大石風人(京都大院農)
 ・荻野暁史(農研機構)・広岡博之(京都大院農)
- A29 養豚における気候変動緩和策の導入による温室効果ガス削減効果
 ○荻野暁史・山下恭広(農研機構畜産研)
 ・大石風人・瀬戸口暁(京都大院農)・日向貴久(酪農大)
- A30 刈取り草地と放牧草地の牧草生産量比較: 空間分布に基づく数理モデルで
 ○塩見正衛(茨城大名誉教授)・陳 俊(西北農林科技大)
- A31 牧草地における雑草のピンポイント除去方法の提案
 ○松村 寛一郎(東京農大)・Kuzin Vitaly Dmitreievich(Nizhny Novgorod Univ.)
- A32 農地の地すべり危険地における民俗学的災害地名の分布
 ○岡本勝男(国土防災技術)
- 16:30 閉会 Closing

Proceedings of the JASS 2023 Annual Meeting

**Potential of Smart Agricultural Practices
from the Field's Perspective:
Creating Agricultural Innovations**

produced by JASS 2023 Annual Meeting Executive Committee;

Chairman: Yosuke Chomei (Hiroshima University)
Planning/Editor: Kensuke Kawamura (Obihiro University of Agriculture
and Veterinary Medicine)
Award Selection: Takashi Tanaka (Gifu University)



The Japanese Agricultural Systems Society (JASS)

Editorial Secretariat: Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine
Inada-cho, Obihiro, Hokkaido 080-8555, Japan

システム農学会 2023 年度大会講演要旨集

目 次 Contents

受賞講演 Award Lectures

- 1 【奨励賞】衛星データを活用した東日本大震災による植生変化の把握
成澤 朋紀 1

シンポジウム 現場目線からのスマート農業実践の可能性: 農業イノベーションの創出 Symposium Potential of Smart Agricultura Practices from the Field's Perspective: Creating Agricultural Innovations

- 1 趣旨説明: 農業生産現場におけるイノベーション創出と普及
長命 洋佑 2
- 2 スマート農業の生産現場への導入可能性と課題
細野 賢治 3
- 3 農業者が使えるスマート農業技術の実装に向けた広島の実践
～ひろしま型スマート農業推進事業(ひろしま seedbox)～
河下 誉 4
- 4 JA における営農販売事業 DX 化
橋本 孟治 5
- 5 農業生産者におけるスマート農業の実践
沖 貴雄 6

一般研究発表 Oral Presentation

- A01 日本の稲作経営におけるエネルギー効率と経営規模
松原伶奈・赤堀弘和・日田アトム・澤内大輔・増田清敬・山本康貴 7
- A02 離散フーリエ変換を用いた表面構造の解析についての検討
—圃場の不陸量の評価を例にして—
天川優輝・岩崎亘典 8
- A03 Using the Bayesian approach to quantify the impact of soil silicon availability on rice
yield and quality in a Japanese mountainous region
Umami Marfuah, Jingyun He, Kazuki Kojima, Tsutomu Matsui and Takashi S. T. Tanaka 9
- A04 The effects of a cross-validation approaches on the model transferability of a soybean
yield prediction model using UAV-based remote sensing
Luthfan Nur Habibi, Tsutomu Matsui and Takashi S. T. Tanaka 10

A05	Evaluating potential of Fourier transform infrared spectroscopy and machine learning approaches to predict soil pH and mineralizable nitrogen	Jingyun He, Tsutomu Matsui and Takashi S. T. Tanaka	11
A06	UAV センシングによる白ネギの生育診断モデルの確立	小池美星・渡邊 修・鮎沢純子・田牧卓真・矢口直樹	12
A07	ドローンから衛星へ:北海道の採草地におけるドローン空撮画像の草量推定	大越証路・川村健介・田中常喜・安田泰輔 ・三枝俊哉・須藤賢司・八木隆徳・林 志炫	13
A08	災害時における準天頂衛星を用いた UAV による農業の潜在的脆弱性に対するレジリエンスフレームワーク	笠原幹大・長谷川克也	14
A09	光学衛星による可変基肥適地評価と馬鈴薯の施肥最適化の実現	山田真子・菊池裕介	15
A10	給与飼料の違いが反芻家畜の採食行動や自律神経活動に与える影響	外山尚典・大石風人・児島優稀・大西康介・熊谷元・広岡博之	16
A11	肉用牛の心臓計測に向けたピーク検出法の開発	福島嵩彬・児嶋朋貴・大石風人・松尾直樹・森尾吉成・村上克介・内藤啓貴	17
A12	テキストマイニングで「システム農学」の研究動向を探る	川村健介	18
A13	Rice yield prediction using UAV-based multispectral imagery and weather data through multimodal deep learning	Md Suruj Mia, Ryoya Tanabe, Luthfan Nur Habibi, Naoyuki Hashimoto, Koki Homma, Masayasu Maki, Tsutomu Matsui and Takashi S. T. Tanaka	19
A14	Establishing a web-application platform for data visualization to enhance collaboration between researchers and farmers	Chen Dai, Tsutomu Matsui・Takashi S. T. Tanaka	20
A15	水稻の生育調査におけるドローンリモートセンシングと地上計測との関係	柴谷一弘・齋藤毅・金谷寛子・前田周平・妹尾知憲	21
A16	筆ポリゴンを活用した秋播き小麦ブロックローテーションの作付け状況の経年的把握	國井大輔・日田アトム・船津崇・四方涼平	22
A17	衛星リモートセンシングによる作物生育状況判定のためのリファレンス生育曲線の検討	菊池裕介・山田真子	23
A18	ハイパースペクトルカメラによるイネ玄米種子から分離される黄色細菌の識別	高井裕一郎・上松寛・松浦貴之	24
A19	イネ玄米種子の病原糸状菌 3 属の胞子を識別する AI の試作	松山美優・上松寛・本蔵洋一・松浦貴之	25
A20	ブドウ栽培管理のロボット化に向けた開花状況判断技術の開発	吉利怜奈・杉浦裕義	26
A21	深層学習を用いた雑草識別に関する研究	塩崎賢悟・神田英司	27
A22	富士北麓におけるニホンジカの生態観測ネットワークの構築	安田泰輔・中村圭太・水村春香・中山智絵・高田隼人・渡邊 修	28

A23	樹種分類への WorldView-3 の短波長赤外波長帯の利用	米澤千夏・鈴木汐音・村田裕樹・竹島喜芳	29
A24	ドローンから衛星へ:北海道の採草地におけるドローン空撮画像の植生分類	川村健介・大越証路・田中常喜・秋山雄希・岡元英樹・二門 世・安田泰輔	30
A25	北海道の採草地におけるイネ科草種判別に適した UAV 撮影時期の検討	田中常喜・板垣英佑・岡元英樹・秋山雄希・牧野 司・二門 世	31
A26	Planet 衛星画像を用いたミャンマー山岳地域の焼畑エリアの検出	渡邊 修・柴田京子	32
A27	衛星高度計を用いたカンボジアにおける洪水氾濫原の水位変化	酒井 徹・張 可・Thav Sopheak・飯泉仁之直・眞崎良光・大吉慶	32
A28	アミノ酸バランス改善飼料を用いた採卵鶏の GHG 排出量評価	瀬戸口暁・大石風人・荻野暁史・広岡博之	34
A29	養豚における気候変動緩和策の導入による温室効果ガス削減効果	荻野暁史・山下恭広・大石風人・瀬戸口暁・日向貴久	35
A30	刈取り草地と放牧草地の牧草生産量比較:空間分布に基づく数理モデルで	塩見正衛・陳 俊	36
A31	牧草地における雑草のピンポイント除去方法の提案	松村 寛一郎・Kuzin Vitaly Dmitreievich	37
A32	農地の地すべり危険地における民俗学的災害地名の分布	岡本勝男	38

発行 2023年11月

システム農学会 The Japanese Agricultural Systems Society
(JASS)

企画委員会：帯広畜産大学 環境農学研究部門内

Planning Committee: c/o Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine

〒080-8555 北海道帯広市稲田町西2線11番地

Inada-cho, Obihiro, Hokkaido 080-8555, Japan (<http://jassnet.org/>)

衛星データを活用した東日本大震災による植生変化の把握

○成澤朋紀(岩手大技術部)

1. はじめに

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故の影響で、福島県葛尾村は全村避難となり、野行地区は特定復興再生拠点区域を除き現在も避難指示が続いている。野行地区の採草地は避難による管理の放棄によって、雑草の侵入等の懸念がある。そこで、野行地区の採草地における震災前後の植生変化についてリモートセンシングデータを用いて推定した。

一方で、沿岸部の宮城県石巻などの地域においては、東日本大震災の影響で森林管理に関する問題が発生し、竹林管理が不十分となる懸念がある。タケは管理不足になると分布域の拡大につながる特徴がある。また、東北地方の沿岸部にはタブノキ林が成立する照葉樹北限域が存在し、この地域においてタブノキは残された潜在自然植生としてその保全が重要視されている。そこで、宮城県三陸海岸周辺のタブノキとタケの分布についてリモートセンシングデータを用いた画像分類により推定した。

2. 方法

福島県葛尾村野行地区の採草地については、Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) センサの震災前(2000年～2010年)と震災後(2012年～2016年)の5月～10月のデータを用いて、正規化植生指標(Normalized Difference Vegetation Index : NDVI)を計算し、季節ごとのNDVI 平均値の変動を震災前後で比較した。また、合成開口レーダである Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR), Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar-2 (PALSAR-2) センサ観測データを解析し、全偏波 (HH+HV+VH+VV)観測データに対して三成分分解を行い、各散乱成分の割合を震災前後で比較した(成澤・米澤 2020)。

宮城県三陸海岸周辺においては、中分解能衛星である Sentinel-2 衛星の 2020 年 2 月 12 日, 4 月 14 日, 5 月 29 日, 8 月 20 日, 10 月 31 日に観測されたデータを用いて画像分類を行った(成澤・米澤 2021)。また、高分解能衛星である Pleiades-1A 衛星の 2015 年 4 月 30 日に観測されたデータ, WorldView-3 衛星の 2019 年 4 月 29 日に観測されたデータを用いて画像分類を行った(成澤・米澤 2023)。

3. 結果と考察

福島県葛尾村野行地区の採草地においては、震災前後で NDVI の季節変動が異なることが分かった。また、三成分分解による各散乱成分の割合が震災前後で異なることが分かった。これらの結果により、震災後に牧草以外の植生が侵入し、繁茂したことが示唆された。

宮城県三陸海岸周辺においては、Sentinel-2 衛星データを用いた画像分類結果は、最も精度が高い組み合わせで全体精度が 89.8 %となった。Pleiades-1A 衛星においては、全体精度が 93.0%, WorldView-3 衛星においては、全体精度が 91.0%となった。2015 年の Pleiades-1A 衛星データおよび 2019 年の WorldView-3 衛星データから作成された分類画像を時系列で比較することにより、宮城県石巻市北上地域の一部のエリアで竹林の拡大が確認された。本研究で作成された分類画像は、対象地域におけるタブノキの保全およびタケの適正な管理において有用となる可能性がある。

引用文献

成澤朋紀, 米澤千夏 (2020) 東日本大震災前後の福島県葛尾村野行地区における採草地の変化. システム農学, Vol. 36, No. 3, pp. 39–48.

成澤朋紀, 米澤千夏 (2021) Sentinel-2 衛星を用いた宮城県南三陸町・石巻市沿岸部のタケとタブノキの分布推定方法の検討. システム農学会 2021 年度大会講演要旨集, pp. 13–14.

成澤朋紀, 米澤千夏, 2023, 高分解能衛星データを用いた東日本大震災後の竹林拡大状況の観測—宮城県石巻市北上周辺における一事例—. システム農学, Vol. 38, No. 4, pp. 59–66.

現場目線からのスマート農業実践の可能性：農業イノベーションの創出

近年、農業生産を取り巻く現場では、農業従事者の高齢化や労働力不足などの経営に係る問題のほか、国際的な農業資材価格高騰や気象変動などのリスク増大、さらには消費者動向や産地再編など、問題が山積している。

このような課題に対応しながら、農業の成長産業化を進めるためには、スマート農業技術（デジタル技術：ロボット・AI・IoT など）の活用によりデータ駆動型の農業生産を実現し、変動著しい世の中の動きに対応していくことが求められる。

そうしたスマート農業技術の導入において、広島県では、従来のような国立農業研究機関が基礎技術を研究し、その技術を、公立農業試験場や行政機関、農業改良普及組織が農家へ農業技術を普及するという、いわゆる「トップダウン」型のモデルとは異なり、現場の状況に合わせた将来の目標設定を行政組織が行い、その目標に向けた支援方策を講じる、いわゆる「ボトムアップ」型の方策を実践している。

そこで本シンポジウムでは、スマート農業の取り組み実践において見識の深い、研究者、行政担当者、JA職員、農業生産者に登壇いただき、現場目線からのスマート農業実践の可能性について検討を行う。

座長解題

「農業生産現場におけるイノベーション創出と普及」

広島大学：長命洋佑

第1報告

「スマート農業の生産現場への導入可能性と課題」

広島大学：細野賢治

第2報告

「農業者が使えるスマート農業技術の実装に向けた広島の取り組み
～ひろしま型スマート農業推進事業（ひろしま seedbox）～」

広島県農林水産局 農業経営発展課：河下誉

第3報告

「JAにおける営農販売事業 DX 化」

JA ひろしま 広島中央地域本部 営農経済部 営農販売課：橋本孟治

第4報告

「農業生産者におけるスマート農業の取り組み」

(同)穴ファーム OKI 代表 沖貴雄

総合討議

スマート農業の生産現場への導入可能性と課題

○細野賢治(広島大学)

1. はじめに

「スマート農業」という用語はここ数年で社会に浸透しつつあるが、実際は 2010 年代から議論されており、政策的には 2013 年に農林水産省がロボット技術等の先行業界、ICT 企業等の産業界の参画の下で「スマート農業の実現に向けた研究会」を立ち上げ、政策立案に向けた検討を開始している(農林水産省 2013)。また、学界においても、2014 年時点で既に技術革新と持続性の両立が最優先の検討課題であるとの指摘がなされている(農業情報学会 2014)。学界での議論を確認すると、町田はスマート農業について、「IT 農業」や「デジタル農業」などとはやや意味合いが異なり、農業の IT 化を強く意識しつつも、営農スタイルや農業の展開方向も包摂した概念であると指摘した(町田 2019)。また二宮は、一般に情報通信技術など先端技術を最大限活用する全く新しい農業の姿への期待を込めて使われている用語であると指摘した(二宮 2019)。つまり、IT を活用した農業技術の開発にとどまらず、生産現場に実装させることで農業生産構造を新しい形に転換させ、農業・農村の持続性向上という段階までを含んだ概念であるといえる。

さて、このスマート農業という用語が近年において社会に浸透しつつある要因の 1 つに、2019 年度から農研機構が事業実施主体となって開始された「スマート農業実証プロジェクト」の存在がある。この事業の目的は、AI(人工知能)や IoT、ロボット技術の活用により、生産性の飛躍的な向上などのイノベーションを推進するため、優先的に取り組むべき課題の特定、研究開発や現地実証、新技术を普及させるための支援や環境づくりなどを推進するものである(農林水産省 2019)。2023 年度までに全国 217 のプロジェクトが採択され、それぞれ 2 年間の実証試験行われている。これらのプロジェクトでは、農研機構や各都道府県農業関係部署のほか、民間企業なども実証代表機関となっており、それぞれが産官学連携のコンソーシアムを結成し、技術開発だけではなく技術導入による経営面での効果も含めて実証分析がなされている。しかしながら、これらのプロジェクトにおいて実証された技術が、その規模感も含めて実際にわが国の多様な農業条件を持つ生産現場それぞれに移植可能か、または、導入することによって各農業者の生産構造や農業所得などが劇的に改善されるかという点では、多くの課題を残している。先に示したように、スマート農業の概念には「農業・農村の持続性向上という段階」までが含まれていることもあり、いかにして生産現場のニーズにマッチした適正規模の技術を適切なコストで導入するかがスマート農業における必須の検討課題である。

2. 目的と課題

そこで本報告の目的は、スマート農業を生産現場に導入するにあたって、現場のニーズに合致した技術実装を実現するための課題と展望を示すことである。そのために、次の点について検討する。第 1 に、スマート農業導入にかかるわが国農業を取り巻く社会経済的環境を把握する。第 2 に、スマート農業の概念形成と近年における政策展開を把握する。第 3 に、これらを受けたスマート農業導入の取組状況を把握する。第 4 に、以上を総括し、スマート農業導入における生産現場の視点からの課題を抽出し、展望を考察する。

謝辞

本報告は、JSPS 科研費 JP 23H0232051(研究代表者:長命洋佑)の助成を受けたものである。

引用文献

- 町田武美 (2019) 記念出版にあたって. 農業情報学会編, 新スマート農業—進化する農業情報利用—, 農林統計出版, 東京, pp. iv-v.
- 二宮正士 (2019) はじめに, 農業情報学会編, 新スマート農業—進化する農業情報利用—, 農林統計出版, 東京, pp. vi-vii.
- 農業情報学会編, 2014, スマート農業—農業・農村のイノベーションとサステナビリティ—, 農林統計出版, 東京.
- 農林水産省 (2013) 農業界と経済界との連携, 農林水産省経営局経営政策課, 東京.
- 農林水産省 (2019) スマート農業の展開について, 農林水産技術会議事務局研究推進課, 東京.

農業者が使えるスマート農業技術の実装に向けた広島取り組み ～ひろしま型スマート農業推進事業(ひろしま seedbox)～ ○河下 誉(広島県農林水産局農業経営発展課スマート農業推進担当)

1. はじめに

本県の農業は、全国の中でも担い手の高齢化が進行しており、2020年農林業センサスの数値では、基幹的農業従事者(約24,500人)の平均年齢72.1歳と全国平均の67.8歳と比較し4歳以上高く、65歳以上が83.5%を占めている。

また、高齢化に伴い農業者のリタイアが増え、優良農地は、農業法人などに貸付が進んでいるものの、耕作放棄地は増加している。こうしたことから、このままでは農業生産基盤を維持していくのは困難なのではないかと危機感を抱いている。

2. スマート農業を推進していく必要性

県では、雇用導入し、部門別管理を行うような企業経営体を育成し、この企業経営体を中心となり、中山間地域の兼業農家など多様な担い手と連携した生産構造の構築、持続可能な農業の確立に向けて取り組んでいる。

その実現には経営体の生産性の向上が不可欠であることから、ロボットやAIなど先端技術を活用し、超省力化や高品質生産等を可能とするスマート農業の導入を検討した。

3. スマート農業技術の実装に向けて

スマート農業技術の中には、すでに実装段階の技術もあるが、イニシャルコストに見合ったベネフィットが得られる技術まで確立されておらず、実装までには時間を要する技術も多く見受けられる。

特に、中山間地域の作業効率の悪い農地においては、その導入効果の発現は限定的である。

そこで、“ひろしま seedbox”では、国や民間企業が開発あるいは開発中のスマート農業技術を、中山間地域の生産環境に適応するようカスタマイズし、県内への普及に向けた収益性の高い経営モデルを構築することとした。

各プロジェクトでは、3年間の実証期間内に、栽培、収穫、販売までの各生産工程の課題を抽出し、その課題に対して技術実証を行い、開発された技術を体系化して経営モデルを構築する。

本講演では、現場目線での技術開発を行うための事業スキームについて述べるとともに、各品目での技術開発の状況及びそれを支援する様々な方策、確立された経営モデルの県内への普及に向けた各機関の連携について報告する。

JAにおける営農販売事業 DX 化

○橋本孟治(JA ひろしま 広島中央地域本部 営農経済部 営農販売課)

1. はじめに

本研究では、農業協同組合(以下、JA)における青果物を始めとする出荷販売業務が、紙媒体を基本とした旧態の出荷手続きとなっており、出荷販売業務に携わる営農指導担当者の本来の業務である農業者への営農指導対応が疎かになる事、煩雑な事務手続きによる出荷報告漏れ等のエラーが生じ結果として青果物の売場が確保できず単価が下がり、農業者の所得増大に繋がっていない事から、コロナ禍以降急速に普及したデジタルトランスフォーメーション(以下、DX)システムの導入による生産者・JA 営農指導担当者双方の出荷作業関連時間の削減効果を検証する事とした。

具体的には、出荷物に専用のコードを添付し専用アプリを利用してコードを読み込み、タブレット端末又は営農指導担当者貸与スマートフォンへ自動的に集計されるシステム「みどりクラウドらくらく出荷」システムを株式会社セラク(東京都新宿区)に業務委託し開発・導入した。

2. 方法

調査は、DX システム導入前後の出荷販売業務対応(生産者からJA への生産者伝票授受→目視、手書きによる集計→出荷報告書(出荷伝票)への転記→FAXによる販売先への連絡という旧態の手法と、生産者が出荷物をスマートフォンで読み込み→出荷→タブレットを翳す事による検品→自動出荷報告の生産者・JA営農指導担当者の出荷関連作業時間の軽減効果を検証した。

3. 結果と考察

本研究の結果、前述の旧態出荷手法からDXシステム利用による手法の導入により、生産者は荷造・包装・出荷までの一連の作業時間が従前と比較して約25%、JA営農指導担当者のそれは約80%もの作業時間削減効果が確認された。

(※参考:従前の生産者作業時間差は約1,200 h→900 h、営農指導担当者の作業時間差は約1,620 h→1290 h)

また、従前の手書伝票・出荷報告書が無くなった事で数値の記載相違も皆無となり、速やかな出荷報告により優位販売に繋がる事で農業者所得の増大に貢献出来る可能性が確認出来た。

本システムはJAひろしま 大和アグリセンター単独での導入・運用であるため、よりDX システムの効果を広域に展開する事を目的とし、今後は広島中央地域本部内の全アグリセンター(広島中央地域 8 地区)への運用拡大並びにJA ひろしま全域での運用を計画すると共に、日々のお荷販売業務と生産者への販売代金精算業務までのシステムを構築する事により、迅速な販売代金の入金と所得の見える化を図り、生産意欲の向上に向けた取り組みを実施する。

農業生産者におけるスマート農業の取組み

○沖貴雄((同)穴ファーム OKI 代表)

1. はじめに

広島県立農業技術大学卒業後、2014年から安芸太田町で就農、2018年に法人化を行い、合同会社穴ファームOKIを運営している。栽培品目は、ほうれんそうを主軸にスイートコーン、白菜、キャベツを生産している。

安芸太田町は中山間地域であり、高齢化・少子化による人口減少が続いているが、事業を拡大し経営発展を目指すことで、地域貢献をしていきたいと考えている。

2. スマート農業の導入

従前より営農支援アプリを活用し、生産、収穫、作業データなどの記録は行っていたが、ほうれんそう等の単価が下落傾向となっている中、作業内容を見直し、作業時間を削減すること、品質を安定させ、単価を向上させることが必要であると考えた。

同時期に「ひろしま型スマート農業推進事業(ひろしま seedbox)」の実証フィールドとしてほ場を提供し事業に協力することになり、令和3年度から統合環境制御装置、収穫予測システム、調製作業の効率化機器等の導入を行い、効果検証を行っている。

3. 技術導入の効果・今後の課題

技術導入の結果、作業を省力化するとともに作業時間の削減に寄与できた技術がある一方、未だ試作段階で今後の改良が必要となる技術も見受けられた。

本講演では、これまでの取組内容や技術導入によって当初の課題が解決したのかなど報告するとともに、今後広島県内の他の経営体においてスマート農業技術の導入を行う際の留意点について意見を述べる。

日本の稲作経営におけるエネルギー効率と経営規模

○松原侖奈(北大院農)・赤堀弘和(北大農)・日田アトム(農林水産政策研)・
澤内大輔(北海商科大商)・増田清敬(滋賀県立大環)・山本康貴(北大農)

1. はじめに

化石燃料に由来するエネルギーの利用によって、現代までに経済活動は大きな発展を遂げてきた。しかし近年、エネルギー資源の枯渇とその利用にともなう環境負荷が懸念されている。これは農業においても例外ではない。日本の主食である米の生産においても、化学肥料、農薬、農業機械の利用によって大幅な生産性の向上を達成した一方で、その背景には化石燃料由来のエネルギーへの依存があり、地球環境への負荷および農業の持続可能性への影響が危惧される。

このような問題への対応策のひとつとして、化石燃料由来のエネルギーを効率的に利用することが挙げられる。日本稲作を対象にエネルギー効率を計測した研究に Masuda (2018) がある。Masuda (2018) では、農林水産省『米生産費統計』の経営規模別平均値を用いて、包絡分析法 (DEA) により経営規模層別にエネルギー効率値を計測し、経営規模が大きい層ほど稲作のエネルギー効率値が高い傾向があることを示した。たしかに、日本稲作では経営規模の零細さが生産性に影響を与えるとされてきたため、稲作におけるエネルギー効率性も、経営規模と関係があることが予想される。しかし、Masuda (2018) はあくまで大規模層ほどエネルギー効率値が高い傾向を示すのみにとどまり、統計的手法により経営規模がエネルギー効率の決定要因であるかを示すには至っていない。そこで、本稿の目的を「日本の稲作経営におけるエネルギー効率は、経営規模の拡大とともに上昇するのか」という問いを統計的手法を用いて解明することとする。

2. 方法

本稿の分析は次の 2 段階から成る。まず、2008 年から 2011 年の農林水産省『米生産費統計』の個票クロスセクションデータを用いて、DEA によりエネルギー効率値を算出した。DEA では、出力は米の単収、入力に化石燃料、電力、化学肥料、農業薬剤、農業サービス、建物、農機具の 7 種類のエネルギー投入量を用いた。続いて、エネルギー効率値を被説明変数、経営規模とその 2 乗項などを説明変数とした回帰分析を行い、エネルギー効率の決定要因を明らかにした。ここで、経営規模には米の作付実面積を用い、回帰分析には Simar and Wilson (2007) によるブートストラップ切断回帰モデルを用いた。従来、DEA によって算出された効率値の要因分析を行った研究では、効率値が 1 となる意思決定単位 (DMU) が多数存在するために、多くの場合で Tobit モデルが使われてきた。しかし、Simar and Wilson (2007) は、効率値が 1 となる DMU の打ち切りがどのように発生するかが説明されていない点や、効率値における系列相関の存在により、Tobit モデルを含む従来の要因分析手法には問題があるとし、新たにブートストラップ切断回帰モデルを提唱している。本稿ではこのモデルを採用した。また、説明変数に経営規模の 2 乗項を導入し、「経営規模の拡大にともなってエネルギー効率は上昇するが、その上昇の程度は逡減する」という仮説の検証を試みた。

3. 結果と考察

Masuda (2018) で述べられた、「大規模層ほどエネルギー効率値が高い傾向がある」ことは、個票データと統計的手法を用いた本稿の分析においても同様の傾向が確認できた。さらに、経営規模の 2 乗項の導入により、規模拡大にともなってエネルギー効率は上昇するが、その上昇の程度は逡減することが示唆された。

謝辞

本稿は JSPS 科研費 JP18K19243, JP22H02441 の助成を受けた研究成果の一部である。

引用文献

- Masuda, K. (2018) Energy efficiency of intensive rice production in Japan: An application of data envelopment analysis. *Sustainability*, Vol. 10, No. 1, 120.
- Simar, L., Wilson, P. (2007) Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, Vol. 136, No. 1, pp. 31–64.

離散フーリエ変換を用いた表面構造の解析についての検討

—圃場の不陸量の評価を例にして—

○天川優輝・岩崎亘典(農研機構)

1. はじめに

18～19 世紀のフランスで、ジョゼフ・フーリエによってフーリエ解析の理論が提唱された。この理論の応用範囲は非常に広く、例えば、信号処理分野において光や音の数値解析をする際には離散フーリエ変換(DFT: discrete Fourier transform)が用いられる。農学分野においても、周期性のある事象が存在するため、DFT による数値解析が有効になる場合がある。本研究ではその一例として、圃場の DSM(Digital Surface Model) 画像に対して DFT を用いた解析を行い、不陸量(圃場に生じている凹凸の高低差)を定量的に評価することを目的とする。

2. 方法

図 1 は 2016 年に撮影された、熊本県のダイズ圃場の DSM 画像(1986 × 2157 pixel)で、色の濃淡は標高を表している(石塚ら 2019)。これは、同年 4 月 14 日および 16 日に発生した平成 28 年熊本地震により生じた凹凸である。この画像 $f(x, y)$ を x 方向に対して 1 次元の信号の集合 $f_y(x)$ とみなす。各行ごとの DFT は、

$$F_y(t) = \sum_{x=0}^{N_y-1} f_y(x) \exp\left(-i \frac{2\pi tx}{N_y}\right), \quad (1)$$

によって表される。ここで、 N_y はピクセル数である。このとき振幅 $A_y(t)$ は、

$$A_y(t) = \left| \frac{F_y(t)}{N_y/2} \right|, \quad (2)$$

で求められ、これを 2 倍することにより、波長成分ごとの高低差を求められる。このとき、最も大きな振幅を記録した波長成分における高低差を、その圃場における不陸量と定義する。

3. 結果と考察

図 2 に本手法を適用した解析結果の一例として、 $y = 1302$ の高低差の分布を示す。最も大きな振幅を記録した波長成分は 14.87 m で、そのときの高低差は 0.19 m であった。国が定める基準によると、この高低差を 5 cm 以内に収める必要があるとされているため(農林水産省 2021)、この圃場では整地するための工事が必要であることが分かった。本研究では DFT を用いた解析手法を圃場の不陸量の評価に利用したが、他にも周期性を持つ事象に利用できる可能性があるため、適用可能な対象については今後、検討を続ける。

引用文献

石塚直樹, 岩崎亘典, 坂本利弘 (2019) ドローンを用いた平成 28 年熊本地震が農地の地表に及ぼした影響の調査—3 次元モデリング解析を活用した不陸評価—。九州沖縄農業研究センター, Vol. 95, pp. 3–9.

農林水産省, 2021, 土木工事施工管理基準, In

https://www.maff.go.jp/j/nousin/seko/kyotu_siyosyo/k_kizyun/, 東京.

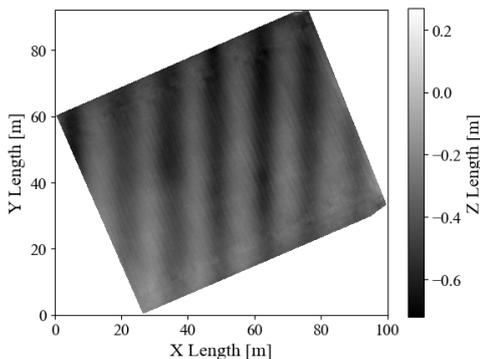


図 1. 圃場の DSM 画像.

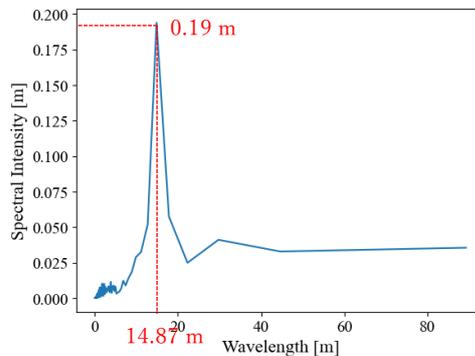


図 2. 波長成分ごとの高低差.

Using the Bayesian approach to quantify the impact of soil silicon availability on rice yield and quality in a Japanese mountainous region

○Umami Marfuah (Grad. Sch. Nat. Sci. Technol., Gifu Univ.), Jingyun He (UGSAS, Gifu Univ.), Kazuki Kojima (Grad. Sch. Nat. Sci. Technol., Gifu Univ.), Tsutomu Matsui and Takashi S. T. Tanaka (Fac. Appl. Biol. Sci., Gifu Univ.)

1. Introduction

Silicon (Si) is an essential nutrient for rice. However, the effect of Si on yield and quality of rice remains largely uncertain in actual farmers' fields. To increase rice productivity and nutrient use efficiency, it might be necessary to develop a field-specific nutrient management strategy for rice fields with a focus on Si availability. However, on-farm data usually has a large uncertainty in parameters which is difficult to be quantified. Thus, this study aimed to explore the factors affecting rice yield and quality including underlying unquantified components such as farmer management block and season using the Bayesian approach. On-farm trials were conducted using a farmers' yield monitor. This study further aimed to provide empirical evidence supporting the practical value of field-specific trials in Japanese paddy fields.

2. Material and Method

The research site was located in Gero City, Gifu Prefecture, Japan (137°12'E, 35°64'N). The variety "Koshihikari" was cultivated for the trials. Fertilization rates varied across 169 fields during a three-year period (2018, 2019, and 2020), with different types and rates used based on the farmer's strategy for each block and season. Consequently, the N input rate ranged from 48 to 75 kg N ha⁻¹. Field-specific data on yield and protein content were collected from commercial yield monitors over the years. Field sizes ranged from 0.035 ha to 0.27 ha, with an average of 0.11 ha. The phosphate buffer method was used to measure soil available Si. The farmer almost uniformly managed fields based on each block. For instance, the transplanting dates were nearly identical within a specific block. Because "Koshihikari" was not grown in block 1 and in 2022, the two blocks in 2022 were not included in the trials and further data analysis. A Bayesian linear regression model was fit in R software using Rstan. Four Markov Chain Monte Carlo (MCMC) chains with 5,000 iterations and a 500-iteration burn-in were run for each model, totaling 18,000 iterations for posterior inference. Chain convergence was monitored using trace plots and R-hat values to ensure the validity of the analysis. The primary explanatory variables were as-block, applied N, available Si, and year.

3. Results and discussions

In this study, we implemented the posterior means and 95% high-density intervals (HDI) for yield and protein coefficients. The effective sample size for MCMC samplings was sufficient for all coefficients, and the R-hat values, used as convergence indicators, were all within the acceptable range of less than 1.10. Block 4 had the highest yield posterior mean within the 95% HDI threshold, while block 1 had the lowest posterior mean within the 50% HDI range. Furthermore, there were no significant effects of applied N, available Si, or year on rice grain yield at the 95% HDI threshold. For available Si, the high concentration had the highest posterior mean at the 50–80% HDI. Regarding protein concentration, no significant effect was observed at 95% HDI. However, block 4 showed the highest posterior mean of protein concentration at 80% HDI, and blocks 1 and 6 showed the lowest protein concentration within 50% HDI. High applied N and available Si expected high protein levels within the 50% HDI. This study suggests that a high N fertilizer input rate may adversely affect rice grain quality without significantly contributing to production. High available Si might enhance nutrient uptake, potentially increasing yield. Farmers may consider selecting rice grains from blocks 1 and 6 with the lower protein content to obtain a premium price.

The effects of a cross-validation approaches on the model transferability of a soybean yield prediction model using UAV-based remote sensing

○Luthfan Nur Habibi (UGSAS, Gifu Univ.), Tsutomu Matsui and Takashi S. T. Tanaka
(Fac. Appl. Biol. Sci., Gifu Univ.)

1. Introduction

Yield prediction model is an integral part of precision agriculture, especially in supporting decision making for site-specific crop management practices. Machine learning combined with UAV-based remote sensing data have been widely used in the research community in developing yield prediction model. Robust yield prediction models should have good transferability potential, meaning the model are capable to predict yield in a domain beyond the training regions (extrapolation) rather than only making predictions in the gaps between sampled observations (interpolation). Yield data often have underlying spatial and temporal structure between observations that could undermine model validation. The commonly used cross-validation (CV) technique was reported to lead to underestimation of model prediction error in yield prediction models as the procedure tends to dismiss any spatial structure within the data. Therefore, this study investigated an appropriate CV strategy for establishing transferable UAV-based yield prediction models in different spatial and temporal domains.

2. Materials and Method

Soybean yield data were taken from seven farmers' fields in Gifu Prefecture, Japan from 2018 to 2021. Spectral data from UAV-based imagery were also captured during the full blooming (R2) and initial seed-filling (R5) stages. Vegetation indices selected based on the Index Database (<https://www.indexdatabase.de/>) were calculated from the spectral data. Yield prediction models were established based on a set of predictor variables from the vegetation indices data. Two subset models were initiated, namely, a model using all vegetation indices data (*all features* model) and model processed with recursive feature elimination (*RFE* model). Three base learner algorithms, including LASSO regression, random forest, and XGBoost, were utilized for developing the model, and a stacked ensemble model formed with these base learners was also implemented. Three data splitting procedures for the CV were compared, including random CV (RCV), cluster-based spatial CV (SCV), and field-specific hold-out CV (LOFOCV). The established models were later tested on an independent field as a test dataset to evaluate the model transferability performance.

3. Results and Discussion

Yield prediction models established using RCV approach performed in a poor accuracy in predicting yield of the independent field. Meanwhile, spatially aware CV, including SCV and LOFOCV, could predicted the yield of the independent field within the ranges of validation accuracy. Spatial CV models were suitable for interpolation and extrapolation implementation, while LOFOCV was specifically appropriate for predicting yield outside the model's spatial domain. These results highlighted the general inability of RCV approach in developing transferrable yield prediction model. These findings was in accordance with Ferraciolli et al. (2019) that emphasized the importance of addressing the spatial dependence of data in developing yield prediction model. Furthermore, the selection of the algorithm and predictor variables used for constructing the models also affected the model transferability. Our results suggest that spatially aware CV should be used as the standard method in constructing transferrable yield prediction model rather than conventional RCV approach.

Reference

Ferraciolli, M.A., Bocca, F.F. and Rodrigues, L.H.A. (2019) Neglecting spatial autocorrelation causes underestimation of the error of sugarcane yield models. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 161, pp. 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.003>

Evaluating potential of Fourier transform infrared spectroscopy and machine learning approaches to predict soil pH and mineralizable nitrogen

○Jingyun He (UGSAS, Gifu Univ.),

Tsutomu Matsui and Takashi S. T. Tanaka (Fac. Appl. Biol. Sci., Gifu Univ.)

1. Introduction

In recent years, Japan has been actively pursuing land consolidation efforts aimed at improving agricultural productivity. As part of these land consolidation initiatives, the acquisition of soil samples for assessing soil properties has become essential, resulting in a noticeable increase in the soil test. Traditional chemical analyses for soil analysis are known to be costly and time-consuming. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) spectral analysis offers a cost-effective means of estimating soil properties. State-of-art machine learning algorithms such as a convolutional neural network were applied for soil spectroscopy to enhance the model performance (Padarian et al. 2019). However, to the best of our knowledge, a majority of research has not deeply explored the model performance for extrapolation tasks while considering the geographic origins of soil samples. Thus, we evaluated the predictive performance between two different algorithms, namely Partial Least Squares Regression (PLSR) and Random Forest (RF), while focusing on the extrapolation task.

2. Materials and methods

A total of 3,354 soil samples were collected from various regions (e.g., Gifu, Nara, Akita, Hyogo) across Japan from 2017–2023. Soil pH was measured by the 1:5 water extraction. Mineralizable nitrogen (Min N) was measured according to the four-week anaerobic incubation method. Mid-infrared spectrum data (wavenumber of 4000–500 cm^{-1}) was obtained at intervals of 4cm^{-1} using FTIR analytical instruments coupled with the diffuse reflectance unit (FT/IR-4700, JASCO Company, Japan). Using Leave-one-prefecture-out Cross-Validation (LOPO-CV), the model performance was evaluated. RMSE (Root Mean Squared Error), RRMSE (Relative Root Mean Squared Error), R^2 , and LCCC (Lin's Concordance Correlation Coefficient) were used to evaluate the model performance. All algorithms of PLSR and RF were implemented in R.

3. Results and discussions

Overall, results showed that PLSR outperformed RF. However, the model predictive performance for either of soil properties might not be sufficient. This indicated that it might not be appropriate to predict soil properties using FTIR if the soil samples were collected from a region that was not included in the model training process. In this study, all hyperparameter tuning processes were conducted according to the randomly selected validation dataset, potentially increasing the risk of model overfitting. Therefore, it might be also essential to select validation dataset while considering the origins of soil samples as the test dataset was selected in the LOPO-CV. Furthermore, our analysis was limited to two soil properties. Thus, we will explore the viability of soil spectroscopic analysis on the other soil properties.

Reference

Padarian, J., Minasny, B. and McBratney, A.B. (2019) Using deep learning to predict soil properties from regional spectral data. *Geoderma Regional*, Vol. 16, e00198.

UAV センシングによる白ネギの生育診断モデルの確立

○小池美星(信大院農)・渡邊 修(信大農)

・鮎沢純子・田牧卓真・矢口直樹(長野県野菜花き試)

1. はじめに

リモートセンシング技術を用いて機械化や大規模化が容易な白ネギの生育診断モデルを確立することは、施肥設計につながる技術である。本研究では、長野県内で栽培面積が拡大しつつある白ネギを対象作物として、UAV センシングによる生育診断技術を開発する。

2. 方法

長野県野菜花き試験場(長野県塩尻市)の長期連用圃場およびJA 菜園(上伊那)の圃場を使用した。長野県野菜花き試験場の長期連用圃場は、三要素と施肥条件が異なる試験区画 14 区(3.3m²/区, 反復なし)で同じ施肥条件を 85 年間継続している。白ネギの品種は龍美, 定植日は 2022 年 5 月 5 日, 収穫日は 10 月 10 日である。調査は UAV マルチスペクトル観測および葉身窒素量の測定を行った。UAV マルチスペクトル観測は P4 Multispectral (DJI)を用いて定期的に撮影を行った。期間は 6~10 月, 観測波長は赤(R), 緑(G), 青(B), 近赤外(NIR)である。飛行高度は 30 m の条件で手動撮影を行った。観測波長から, 緑色正規化指数 GNDVI(= (NIR - GREEN) / (NIR + GREEN))を算出した。葉身窒素量の測定はアグリエキスパート(サタケ)を用いて, 1 区画につき 6 反復 × 3 箇所 of データを取得した。GNDVI 値の施肥条件別の比較, 葉身窒素量の回帰式の作成, 点群による実測長の予測を行った。

JA 菜園の圃場は, 1ha の圃場に 3 つの試験区画を設定している。試験区画の条件は, 慣行栽培, 基肥一発施肥を畝全体に行う全面全層施肥栽培, 基肥一発施肥を根元のみに行う局所施肥栽培である。品種は関羽一本太, 定植日は 2022 年 5 月 10 日, 収穫日は 9 月 27 日である。調査は UAV マルチスペクトル観測を約 10 日間隔で行った。飛行高度 50 m, DJI TERRA (DJI)による自動飛行を行った。観測波長から GNDVI 値の算出を行い, 収穫日までの GNDVI 値の変動および, 圃場の GNDVI 値のマップの作成を行った。

3. 結果と考察

長野県野菜花き試験場の圃場において, 植生指数と窒素施肥の関連が見られた。葉身窒素量の一次回帰モデルは, 目的変数が葉身窒素量(%), 説明変数が撮影日ごとの緑色正規化指数 GNDVI 値で, 窒素施肥を変化させた区画をプロットした。式(1)の回帰式が最も決定係数が高く, 決定係数は 0.72 であった。

$$\text{葉身窒素量(\%)} = 5.84 \times \text{GNDVI}_{8\text{月}10\text{日}} + 0.7 \quad (1)$$

RGB 画像の合成で作成した点群から得られる標高 Z 値を使用し, 白ネギの葉の頂点の標高値と白ネギの根元の標高値の差分から, 白ネギの葉鞘長の予測長を算出した。葉鞘長の一次回帰モデルは, 目的変数が収穫時の葉鞘長(m), 説明変数が 10 月 5 日の予測葉鞘長で, 窒素施肥を変化させた区画をプロットした。「式 2」の回帰式が得られ, 決定係数は 0.69 であった。

$$\text{葉鞘長(m)} = 0.18 \times \text{予測葉鞘長}_{10\text{月}5\text{日}} + 0.16 \quad (2)$$

JA 菜園の圃場において, 収穫日までの GNDVI 値の変動の平滑化で, 施肥条件別の GNDVI 値の変動を示した。どの施肥条件も移植日から 100 日前後で GNDVI 値がピークを迎え, その後低下を示した。全面全層施肥区は他の施肥区と比較して GNDVI 値が大きく低下した。生育後半に肥料が切れる様子を示していると考えられる。GNDVI 値のマップ化では, 5 m グリッドごとに白ネギの生育状況を視覚化することができたが, 土壌の影響を受けやすい作物であるため, 土壌の影響を除去する操作が必要である。

参考文献

- 井上吉雄 (2016) 農業と環境調査のためのリモートセンシング. 森北出版株式会社, 東京.
Jones, H.G. and Vaughan, R.A. [久米篤訳] (2013) 植生のリモートセンシング. 森北出版株式会社, 東京.

ドローンから衛星へ: 北海道の採草地におけるドローン空撮画像の草量推定

○大越証路・川村健介(帯畜大)・田中常喜(道総研酪農試)・安田泰輔(山梨富士山研)
・三枝俊哉(酪農学園大学)・須藤賢司・八木隆徳(農研機構北農研)
・林 志炫(農研機構農環研)

1. はじめに

飼料生産の場である採草地は、将来の食糧問題に対応するため、生産性向上が危急の課題となっている。近年、小型無人航空機(以下、ドローン)を使用した研究が世界中で増加傾向(Bazzo ら 2023)にあり、今後も発展していくことが予想される。しかし、北海道に代表される広大な草地(>5 ha)への活用は、バッテリー等の影響で飛行対象エリアの制限があるため困難である。現在、我々のグループでは、北海道の採草地モニタリングを衛星画像へスケールアップする目的で、ドローンによる衛星画像用の教師データの構築を進めている。本報告では、統一した飛行方法(川村ら 2023)で、1 番草収穫前に空撮したドローン画像を使用した草量推定の結果を報告する。

2. 方法

調査は、オーチャードグラス(*Dactylis glomerata* L.)及びチモシー(*Phleum pratense*)を基幹草種とした道内 12 圃場(帯畜産大学畜産フィールド科学センター、北海道農業研究センター、酪農学園大学、鹿追町、大樹町)で、1 番草収穫前の 2023 年 5 月 16~29 日に実施した。各圃場において、ドローン空撮(高度 35 m)と地上部刈取り(50 cm × 50 cm)を行い、草分け後の乾燥重量を秤量した($n = 250$)。ドローンの RGB カラー画像は、HSV 色相変換を行った後、空間変量(7 × 7 ピクセル)を計算し、HSV と空間変量を説明変数としたランダムフォレスト(RF)回帰により草量の推定を行った。

3. 結果と考察

ドローン空撮データから得られた RGB、植生指数、HSV の 10 変数を説明変数とした RF モデルの推定精度は($R^2 = 0.64$, $RMSE = 41.4$)であった。これらの 10 変数に地上調査で得た草高(PH)、マメ科率(LC)を加えた 12 変数にした結果($R^2 = 0.94$, $RMSE = 27.6$)、大幅な推定精度の向上が認められた。変数の重要度を確認したところ、PH が最も高く、次いで LC が高い値を示した。今後、ドローン画像の DSM と植生分類から得られる PH と LC を加えることで、草量の推定精度の向上を検討する予定である。

引用文献

Bazzo et al. (2023) A review of estimation methods for aboveground biomass in grasslands using UAV. *Remote Sensing*, Vol. 15, 763479. <https://doi.org/10.3390/rs15030639>

川村ら (2023) ドローン飛行高度と地上分解能の関係。日本草地学会誌, Vol. 69, pp. 138–144.

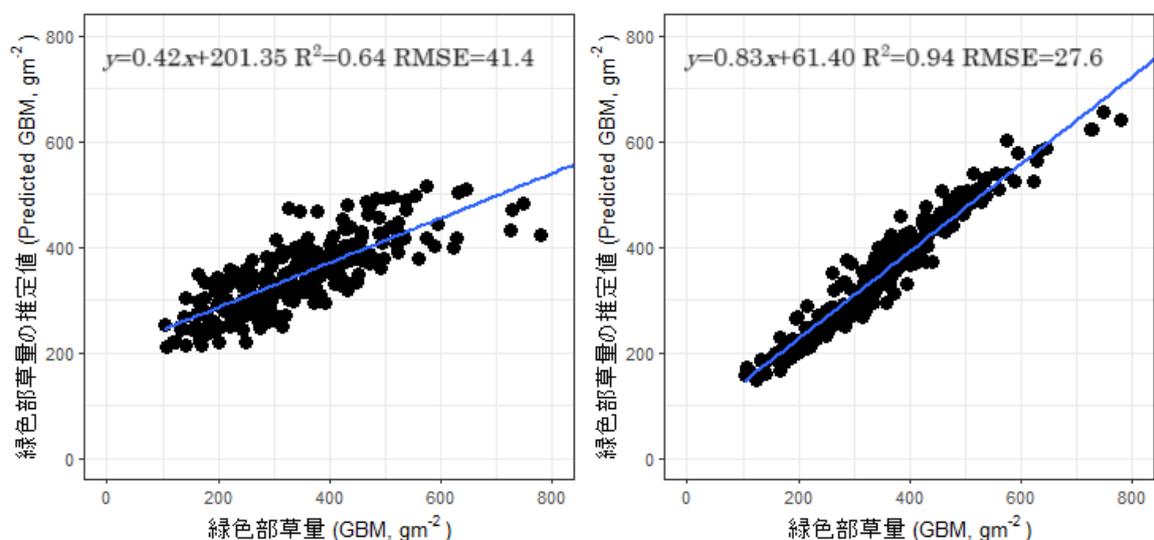


図 1. 緑色部草量の実測値と推定値の関係(検証用データセット).

左図:ドローン画像(HSV と空間変量)の RF モデル, 右図:ドローン画像に PH と LC を加えた RF モデル

災害時における準天頂衛星を用いた UAV による農業の潜在的脆弱性 に対するレジリエンスフレームワーク

○笠原幹大・長谷川克也(宇宙航空研究開発機構)

1. はじめに

宇宙航空研究開発機構(JAXA)では、これまで準天頂衛星みちびきからの信号を UAV(Unmanned Aerial Vehicle)で用いることにより営農の効率化を図るモデルについての研究が進められてきた(長谷川 2016a,b)。準天頂衛星を GPS 信号と組み合わせることは GDOP(Geometric Dilution of Precision)が抑えられ、高精度測位に寄与する。近年、太陽活動は極大期に向けて活発化しており、大規模な太陽フレアの発生頻度も増加傾向にあり、Superflare の発生も懸念されている。活発化した太陽現象により地球上へ噴き出された大量のプラズマは磁気嵐を発生させるおそれがある。GPS はその測位の性質上、宇宙空間にある GPS 衛星と地球上にある GPS 受信機との電磁場が歪むことに対して脆弱である。現状のみちびきや GPS 衛星を実装した UAV はこれらの太陽現象に大きく影響を受けるおそれがあり、営農の継続性を損なうことに繋がりがねない。そこで笠原・長谷川(2023)は、GPS の代替測位手法として天測航法 UAV について提案を行った。しかしながら、天測航法は GPS と比較して大きく精度が下がることが知られている。本研究では、太陽現象による GPS 障害を想定し、天測航法を用いて営農の事業継続性を高めるためのフレームワークを提案する。

2. フレームワーク

私たちは今回、天測航法を拡張カルマンフィルタに適用することで他のセンサーデータと組み合わせ精度を向上させるフレームワークを提案する。拡張カルマンフィルタとは、測定したセンサーの値が非線形状態の関数に従う際に機体の状態推定を行うために用いられるアルゴリズムである。フレームワークの概要図は図 1 のようになる。天測航法の基礎理論と観測データに基づく拡張カルマンフィルタを、対気速度や気圧のようなセンサーと組み合わせることによって誤差をフィードバックし修正することを可能にする。

3. 考察

本稿では、天測航法を拡張カルマンフィルタにおけるセンサーデータとして適用するフレームワークを提案した。GPS が機能不全に陥った場合、営農における事業継続性の確保は重要である。そのため、代替手法でも同様の効率化モデルを維持できるようなシステムを提案することは、今後の農業のレジリエンスの向上に寄与すると考えられる。今後、私たちはみちびきの実際の誤差のシミュレーションや天測航法をカルマンフィルタに適用したシステムを用いて実測を行うことで有効性の検証を行う予定である。

引用文献

長谷川克也 (2016a) 精密農業利用に向けた UAV の多角的利用の実際. 画像電子学会年次大会予稿集 2016 年度, 第 44 回画像電子学会年次大会, 予稿集, pp. 58-58.

長谷川克也 (2016b) 無人航空機の農業利用における課題と今後の展望, 画像電子学会誌 Vol. 45, No. 4, pp. 504-507.

笠原幹大, 長谷川克也 (2023) UAV 天測航法に向けた精密計測手法の研究. 第 51 回画像電子学会年次学会, 企画セッション [ドローン空撮映像の社会応用とその技術 (AIM/DRC 研究会企画)].

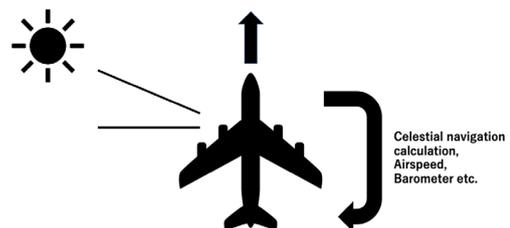


図 1. フレームワーク概要.
天測航法に対して、他のセンサーデータ (対気速度、気圧等) を組み合わせた拡張カルマンフィルタを用いる。

光学衛星による可変基肥適地評価と馬鈴薯の施肥最適化の実現

○山田真子・菊池裕介(日本電気株式会社)

1. はじめに

圃場状況に合わせて施肥量を変化させる可変施肥技術においては、土壌窒素量や植生といった収穫量に寄与するデータに基づき施肥設計をすることが重要である。黒ボク土においては土壌窒素量と裸地撮影画像の赤波長域の間に正の相関があり、それに基づいた可変施肥が検証されているが、土壌物理性が影響し施肥効率が向上しない例が報告されている(丹羽ら 2016)。さらに可変基肥を光学衛星データに基づいて実施する場合、雲や降雨を除いた条件下の赤波長域データを選択する必要がある。本研究では光学衛星を利用した可変基肥最適化のため、赤波長域データに基づく可変基肥有効性の評価と可変基肥に適した衛星データの選抜手法を確立し、可変基肥による施肥効率の向上を目指した。

2. 方法

北海道十勝エリアに位置する 7.26 ha の馬鈴薯圃場(2022 年 5 月植付)において、2019 年から 2021 年の過去 3 年分の赤波長域データとNDVIデータを取得し、赤波長域データと植生データの相関分析により可変施肥設計に適した赤波長域データを選抜した。圃場を定量区と可変区に分割し、定量区に一律で窒素量換算で 20 kg/ha、可変区に選抜した赤波長域データに基づき 16 kg-24 kg/ha を可変散布した。収穫量の調査は、定量区と可変区の中で赤波長域データから推定土壌肥沃度の低・中・高のエリアを選定した。2.5 m×2 m のエリアでつぼ堀調査を実施し、上いも重量、規格内重量、規格内率、比重、ライマン価を測定した。生育期間のデータとして調査エリアの生育期間中のNDVIデータを取得した。

3. 結果と考察

2021 年から選抜された赤波長域とNDVIの間には相関係数 0.54 と正の相関があり、赤波長域データに基づく可変施肥に適した圃場だと考えられた。定量区では推定土壌窒素量がNDVIと上いも重量に比例する一方で、可変区では 3 エリアで推定土壌窒素量にかかわらずNDVIと上いも重量が同程度となった。また、選抜した赤波長域データに基づく可変施肥により、可変区の推定土壌窒素量が低いエリアで NDVI と収穫量が改善し、両区画で平均施肥量は同量であるのに対して平均規格内重量は定量区より可変区で 9.4% 増加した。上記の結果から、光学衛星の赤波長域データに基づく可変基肥に適した圃場選定と施肥設計に使用する衛星データの選抜による可変施肥有効性の向上の可能性を示した。

引用文献

丹羽 勝久, 横堀 潤, 米山 晶, 品川 浩一 (2016) 低層リモートセンシングによる圃場の土壌情報モニタリング. 農業農村工学会誌, Vol. 84, No. 9, pp.749-752.

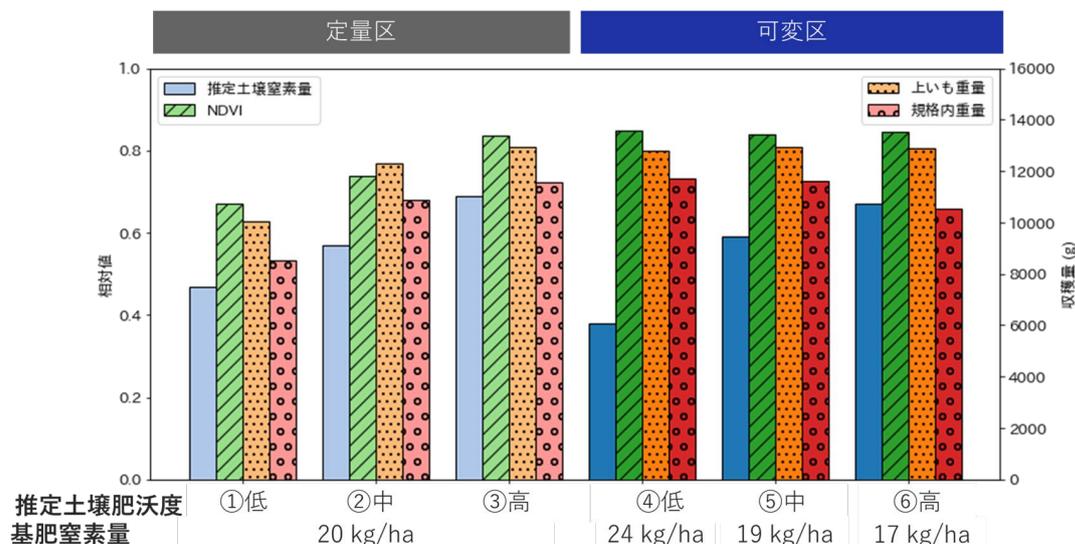


図 1. 推定土壌窒素量と基肥窒素量、NDVI、および収穫量の関係。

給与飼料の違いが反芻家畜の採食行動や自律神経活動に与える影響

○外山尚典・大石風人・児島優稀・大西康介・熊谷元・広岡博之(京都大院農)

1. はじめに

交感神経系や迷走神経はストレス刺激に対する応答を担っており、生理的・精神的な負荷のもとでは迷走神経のはたらきが弱まり交感神経系が優位になり、心拍数の増加および心拍変動の減少が起こるとされている (Task Force of the European Society of Cardiology, North American Society of Pacing Electrophysiology 1996)。近年、欧米を中心にアニマルウェルフェアへの関心が高まっている背景から、心拍変動を用いた家畜動物の自律神経活動評価が行われている(von Borrel ら 2007)。一方、ストレス応答としてではなく、日常的な飼養管理要因の違いが家畜動物の自律神経活動に及ぼす影響を検討した報告は少ない。そこで本研究では、粗飼料多給や濃厚飼料多給といった日常的な給与飼料の違いが家畜動物の自律神経活動に及ぼす影響について検討することを目的とし、心拍変動と行動の変化を評価した。

2. 方法

コリデー種去勢綿羊 7 頭を用い、2021 年 7 月と 2022 年 5 月に試験を実施した。2 つの処理区(粗飼料多給区と濃厚飼料多給区)を設定し、それぞれライグラスストローと濃厚飼料の比が 8:2 および 4:6 である飼料を体重の 0.8%給与した。2 試験期で処理区を反転させ、各試験期で試験飼料の馴致後にデータを収集した。心電計を用いた心拍間隔の測定と目視による行動分類データ(休息(立位), 休息(横臥), 反芻(立位), 反芻(横臥), 採食)の取得, および採食量の計測を行った。得られた結果を 5 分間隔のデータセットに分割し, 平均心拍数(meanHR)のほか, 心拍変動指標として, 時間領域指標である SDNN, RMSSD, 周波数領域指標である HF, さらにはリカレンスプロットを用いた非線形領域指標として L_{MAX}, %DET, %REC を算出し, 各々の心拍指標に対して処理区, 行動, 試験期, 採食速度の各要因とそれらの交互作用の影響を調べるために最小二乗分散分析を行った。

3. 結果と考察

まず行動の違いによる自律神経活動への影響としては, 立位時は採食時および横臥時に比較して交感神経系が優位となることが示された($p<0.05$)。また, 反芻時は非反芻時と比べ迷走神経が優位に働くことが示唆された($p<0.05$)。

次に飼料の違いとしては, 粗飼料多給区よりも濃厚飼料多給区において交感神経系が優位に働くことが示された。また飼料の違いと反芻の有無との交互作用については, RMSSD に対し有意な効果が見られ($p<0.05$), 粗飼料多給区でのみ反芻時に迷走神経が優位となることが示唆された。さらに, 飼料の違いと採食速度との交互作用においては, RMSSD と SDNN に有意な影響が見られ($p<0.05$), 粗飼料多給区に比べ濃厚飼料多給区において, 給餌直後の採食速度が大きい時間帯において迷走神経が優位に働くことが示唆された。

謝辞

本研究は, JSPS 科研費(JP19K06352)および京都大学教育研究振興財団の助成を受けて行われたものであり, ここに謝意を表します。

引用文献

- Task Force of the European Society of Cardiology, North American Society of Pacing Electrophysiology (1996) Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, Vol. 93, pp. 1043–1065.
- von Borell, E., Langbein, J., Després, G., Hansen, S., Leterrier, C., Marchant-Forde, J., Marchant-Forde, R., Minero, M., Mohr, E., Prunier, A., Valance, D., and Veissier, I., 2007. Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals—A review. *Physiology & Behavior*, Vol. 92, No. 3, pp. 293–316.

肉用牛の心弾動計測に向けたピーク検出法の開発

○福島嵩彬(三重大院生資)・児嶋朋貴(農研機構畜産部門, 愛知農総試)・
大石風人(京都大院農)・松尾直樹・森尾吉成・村上克介・内藤啓貴(三重大院生資)

1. はじめに

一戸当たりに占める飼育頭数は増加傾向に推移しており、個体ごとのきめ細やかな管理は困難となっている。その中で、近年ではアニマルウェルフェアに配慮し、家畜を適切に飼育管理し健康を維持していくことで、安全な畜産物の生産と生産性の向上も求められている。そのため、効率的かつ細やかな個体ごとの状態把握が可能な飼養管理システムの構築が期待されている。そこで本研究では、肉用牛の健康状態を効率的にモニタリングするために、心弾動(BCG: ballistocardiography, 以下、BCG とする)を用いた計測に向けたピーク検出法の開発に取り組んだ。

2. 方法

本試験は愛知県農業総合試験場の動物実験指針に従い(承認番号 22-2)、2022年6月8日に実施した。供試動物には黒毛和種繁殖雌牛の1頭(空胎, 54ヶ月齢)を用いた。測定は供試牛をスタンションに繋留して体部だけ自由に動作できる状態で実施した。高感度ピエゾコンタクトマイクを供試牛の体表に密着させることでBCGを計測した。BCGの測定箇所は児島ら(2021)およびKahankova *et al.* (2022)を参考に、左胸深部付近と右側体側部とした。これらの最終的な測定箇所は、聴診器による振動音および計測時の生波形を確認しながら、BCGを測定できるか判断して決定した。また心電図(ECG: electrocardiography, 以下、ECG とする)測定も児島ら(2021)を参考に、DAQターミナルに生体電極リードおよび心電図用電極を接続し、電極素子を供試牛の左胸深部と右背部に心臓を挟むように配置して行った。

3. 結果と考察

本研究では、同時に計測したECGとBCGの波形を比較した結果、それぞれの計測部位において心拍に対応する電圧値の変動を確認した。その後、この電圧値の変動からECGの拍動のピーク波形を示すQRS Complexに対応するピークを検出できるかを検証した。BCGの波形に対してバターワース特性を持つフィルタ処理を実施した後、ピークを自動検出した結果、左胸深部と右側体側部でQRS Complexとピーク数が双方で $100 \pm 1\%$ 以内で一致した。さらに、得られたピーク間隔とECGから得られる心拍間隔との誤差を評価したところ、左胸深部付近は右側体側部と比較して、誤差率平均が低くなることが示唆された。また、右側体側部では、左胸深部付近よりフィルタ設計時に低周波成分を含めることが有効であることが示唆された。そして、ECGのQRS Complexとそれぞれの部位で計測されたピークの遅延時間を評価したところ、左胸深部付近は右側体側部と比較して、遅延時間が短いことが示唆された。右側体側部における計測では、付近を通る大血管を流れる血流が起こす振動が計測され、心音を間接的に取得した結果、遅れが発生したと考えられる。

引用文献

児島優稀, 大石風人, 上西彰悟, 内藤啓貴, 井上貴詞, 永田富治, 長瀬祐士, 北村祥子, 糸山恵理奈, 吉岡秀貢, 星野洋一郎, 熊谷元, 広岡博之 (2021) ウシに対する新たな心拍測定手法としての心弾動測定法の検討, システム農学, Vol. 37, No. 1, pp. 1-7.

Kahankova, R., Kolarik, J., Brablik, J., Barnova, K., Simkova, I. and Martinek, R. (2022) Alternative measurement systems for recording cardiac activity in animals: a pilot study. *Animal Biotelemetry*, Vol. 10, No. 15, pp. 1-21.

テキストマイニングで「システム農学」の研究動向を探る

○川村健介(帯畜大)

1. はじめに

システム学会には、本学会の目的と領域を明確化した 10 本の柱(表1)が存在する。「システム農学」誌は、学会が設立された 1984 年に創刊し、現在まで「農学に関する学際領域をシステム論に基づいた研究」を中心として、広く関連諸分野の先端的学術論文を集め掲載してきた。多様な学際研究領域の中から、投稿論文に適した区分を10本の柱から選択することになる。しかしながら、現在の 10 本の柱は学会設立時から 40 年近く変わっていないことから、現在の研究動向とは乖離した柱も見受けられる。そこで本研究では、「システム農学」誌に掲載された論文要旨のテキストマイニングによって、過去から現在までの研究動向を調査し、新たな投稿区分について提案することを目的としている。

2. 方法

J-Stage 上の『システム農学』誌 (<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jass/list/-char/ja>) に掲載済みの論文 20~38 巻(2004~2022 年)からダウンロードした各論文のメタデータ(テキスト形式)を使用した。テキストデータは、Google Colab (<https://colab.research.google.com/>) 上で、3 つに区分した年代(2004-2009, 2010-2019, 2020-2022)について、テキストマイニング(形態素解析, 主成分・クラスター分析, ワードクラウド)を行い、研究動向について考察した。

3. 結果と考察

論文掲載数は、23 巻(2007 年)の 32 報をピークに年々減少し、34 巻(2018 年)以降は 10 報以下が続いている。3 つに区分した年代ごとのキーワードの傾向より(図 1), システム・環境・地域研究からデータサイエンスに研究の主流が移行しつつあると推察された。以上を踏まえて、10 本の柱の改定案を検討した(表 1)。改定案について、広く学会員のご意見を伺いたい。



図 1. 年代ごと(2004-2009, 2010-2019, 2020-2022)の要旨テキスト情報から作成したワードクラウド。

表 1 システム農学会 10 本の柱とその改定案

10 本の柱	改定案
1. 農業・食料生産システム分析	1. 農業生産システムとモデリング
2. 農業システム工学	2. スマート農業とリモートセンシング
3. 農業情報利用	3. 農業のための AI と機械学習の応用
4. GIS, リモートセンシングの利用	4. 環境と農業の持続可能性
5. 地球・農業環境問題と資源循環	5. 農業生態系のシステム分析
6. 農学における生態系分析	6. 農業経済とシステム管理
7. 農村・地域システム分析	
8. システム理論・応用	
9. ソフトウェア開発	
10. その他	

Rice yield prediction using UAV–based multispectral imagery and weather data through multimodal deep learning

○Md Suruj Mia (UGSAS, Gifu Univ.), Ryoya Tanabe (Grad. Sch. Nat. Sci. Technol., Gifu Univ.), Luthfan Nur Habibi (UGSAS, Gifu Univ.), Naoyuki Hashimoto (Fac. Agric. Marine Sci., Kochi Univ.), Koki Homma (Grad. Sch. Agric. Sci., Tohoku Univ.), Masayasu Maki (Fac. Food Agric. Sci., Fukushima Univ.), Tsutomu Matsui and Takashi S. T. Tanaka (Fac. Appl. Biol. Sci., Gifu Univ.)

1. Introduction

Timely, nondestructive, inexpensive, and precise large-scale yield forecast is essential for preventing climate risks and ensuring food security. Satellite-based remote sensing for crop yield prediction has often been constrained by the limited spatial and temporal resolution of satellite data. In response to the challenges, unmanned aerial vehicles (UAVs) have been widely used to collect data due to their superior spatial and temporal resolutions and flexibility in sensor selection compared to airborne and satellite platforms.

Machine learning algorithms possess the capability to devise novel solutions for real-world challenges, enabling farmers to make informed decisions while requiring minimal or even no human intervention. The Convolutional Neural Network (CNN) algorithm is efficient not only in image classification tasks but also for regression tasks such as crop yield prediction. Weather is one of the major environmental factors affecting crop growth and yield. Integrating weather and image data as input layers into CNN models may enhance the accuracy of the yield prediction. The objective of this study was to develop a multimodal deep learning model to predict rice grain yield using UAV images at the heading stage and aggregated weather data.

2. Materials and Method

Rice yield surveys were conducted in 22 farmers' fields in Japan over six years (2017–2022). Nine rice varieties were planted, and crop management was conducted according to local conventional methods. Strip trials were performed in 12 fields for basal fertilizer application to obtain high yield variability and to determine whether the effect of fertilizer application rate on rice yield could be evaluated using a predicted yield map. A total of 894 samples were collected in all yield surveys, from an area of approximately 1.0 m² at the heading stage. UAV multispectral images and weather data (<https://amu.rd.naro.go.jp>) for each region are collected and processed. 18 architecture models consisting of two types of CNN feature extractor layers (i.e., CNN_2conv and AlexNet), three different depths of fully connected layers, and three methods of integrating weather data (no weather data, weekly sum of weather data, and monthly sum of weather data) into deep neural network models were established. The model performance was measured using the R², root mean squared error (RMSE), and root mean squared percentage error (RMSPE) values.

3. Results and Discussion

The collected yield data exhibited a normal distribution. There was no significant difference in model accuracy between the AlexNet and CNN_2conv architectures. The effects of the number of layers and weather data types on the model performance were significant but according to Tukey's HSD results, there were no significant differences among various layers. Models trained with weekly weather data consistently outperform others. Thus, the simpler CNN extractor (i.e., CNN_2conv) and weekly aggregated weather data might be the best combination for multimodal deep learning in terms of yield prediction accuracy and computational cost. However, spatial distributions of predicted yield were inconsistent between the best two models, although the models showed almost the same prediction accuracy.

Establishing a web-application platform for data visualization to enhance collaboration between researchers and farmers

[○]Chen Dai (Grad. Sch. Nat. Sci. Technol., Gifu Univ.),

Tsutomu Matsui and Takashi S. T. Tanaka (Fac. Appl. Biol. Sci., Gifu Univ.)

1. Introduction

With a growing environmental concern and a urgent demand for sustainable development in modern agriculture, on-farm experimentation (OFE) is becoming a widely embraced approach for agricultural studies and practices worldwide. Studies on OFE is more commonly recognized in European and North American countries. OFE brings together researchers, farmers, and other agricultural stakeholders to solve real challenges in agricultural production through experimentation. The primary issues include boosting yields, responding to climate change, and raising farmers' living standards. Because of the differences in environmental and socioeconomical backgrounds, farming scale is much smaller in Japan than other western countries. More engagements by either of farming companies, agricultural cooperative corporations, and smallholder farmers will be required to collect a significant amount of OFE data, which enables more efficient and robust decision making. Meanwhile, it is essential to develop effective tools to allow knowledge exchange or co-learning among farmers. Given the Japanese agricultural situations, a data visualization web-application platform will contribute to facilitate communications and interpretations of collected OFE data among farmers, agronomists, and researchers over the years in different locations

2. Material and Method

To encourage farmers to engage in OFE, it is important to provide them with examples of analyzed OFE data. A data visualization tool was established using R Shiny to assess the success of the interactive features which allows farmers to gain new insights into data analysis. More specifically, the web application aimed to facilitate farmers' understanding of causal impact on field-specific rice grain yield data, which subsequently support better decision making in the farm management and increasing the economic income. To develop web application, actual field-specific trial data was used. In this OFE, a certain farmer applied different rates of basal fertilizer in each paddy field, and then collected rice yield data using commercial yield monitors in Gero, Gifu, Japan over the three years (2020-2022).

3. Results and Discussion

Visualization function of linear regression models was developed through an interactive web application. By doing so, farmers can select different combinations of fields' characteristics in the application and then view graphs of the linear regression model, including regression lines, fitted scatter plots, and model equations. It gives farmers a better visualization of their relevance as well as importance to help farmers understand the relationship and importance of fields' characteristics. The application can also map the soil properties by utilizing a color gradient to represent the levels of different properties. Users can view the specifics of each field by clicking on the map markers. To enhance the interfaces and functions of the interactive web-application platform that would facilitate knowledge transfer or co-learning among farmers, we will conduct qualitative interviews with farmers who participated or did not engage in the OFE in near future.

References

- Tanaka, T.S.T. *et al.* (2023) Toward an effective approach for on-farm experimentation: Lessons learned from a case study of fertilizer application optimization in Japan. *Precision Agriculture* Vol. 24, pp. 2044–2060.
- Laurent A. *et al.* (2021) Interactive web-based data visualization and analysis tool for synthesizing on-Farm Research Networks Data, Research synthesis methods. *Res. Synth. Methods*, Vol. 12, No. 1, pp. 62–73.

水稻の生育調査におけるドローンリモートセンシングと地上計測との関係

○柴谷一弘・齋藤毅(コニカミノルタ)

・金谷寛子・前田周平・妹尾知憲(岡山県農林水産総合センター)

1. はじめに

本研究では、水稻の生育調査におけるドローンリモートセンシングと地上計測との関係を明らかにする。ドローンリモートセンシングを用いれば、植物の生育状態を正規化植生指標 (NDVI) などの指標で数値化して、圃場全域の状態を把握することができる。ドローンを用いることで、煩雑な手作業による生育調査を効率化することを目指している。ところで、ドローンリモートセンシングで得られる NDVI は、農業生産者にとっては馴染みの薄い指標であるため、活用の仕方が現場に浸透していないという現状がある。水稻栽培において、農業生産者が一般的に用いてきた指標は、地上計測で得られる草丈、葉色 (SPAD 値)、莖数、生育量 (草丈×葉色×莖数) などであり、NDVI とは異なる“ものさし”である。NDVI を現場で広く活用してもらうためには、従来の“ものさし”との関係を明らかにすることが必要である。そこで、NDVI から草丈、葉色、莖数、生育量などの情報を読み取ることについて検討を行った。

2. 方法

調査は、ドローンリモートセンシングによる計測値 (NDVI, 植被率) と地上計測の計測値 (草丈, 葉色, 莖数, 生育量, LAI, 窒素吸収量) との比較を行い、両者の検量線を評価することで行った。使用したドローンは P4 Multispectral (DJI 社製) であり、NDVI と植被率の算出には、コニカミノルタ株式会社の筆者らが開発した解析システムを用いた (柴谷 2022)。NDVI の算出に用いた波長帯は、840±26nm (近赤外 Near infrared : NIR) と 560±16nm (Green) である。

供試材料は水稻品種の“きぬむすめ”とした。試験は、2020 年、2021 年、2022 年の 3 年間行った。栽植密度は 2020、2021 年は 15.9 株、2022 年は 9.3 株および 12.8 株とした。試験区の面積を 8.0×4.5m とし、生育量に差が出るように、施肥窒素量は 0~15g/mg の 5 ないし 6 水準とした (金谷ら 2023)。

3. 結果と考察

本研究の結果、ドローンリモートセンシングによる計測値 (NDVI, 植被率) から読み取れる情報として、以下のことがわかった。

- ① (草丈×葉色×植被率) は (草丈×葉色) のみの時よりも年次間差なく NDVI との相関が高い
- ② (草丈×葉色×植被率) は、(草丈×葉色) のみのときよりも NDVI との相関が高い
- ③ 生育量および (生育量×植被率) は、NDVI と相関があるが、その関係には莖数に起因する年次間差が生じる
- ④ (LAI×植被率) は、LAI のみのときよりも NDVI との相関が線形近似で高い
- ⑤ (窒素吸収量×植被率) は、窒素吸収量のみのときよりも NDVI との相関が線形近似で高い

NDVI の情報源は、自然光が水稻群落で多重反射や多重散乱した光である。NDVI は稲体のボリュームに関する情報を持っているが、それは稲体の受光態勢や隣接する葉の重なり具合により影響される。この影響を補正するパラメータとして植被率が有効であることがわかった。植被率による補正で、NDVI と従来の“ものさし”との関係をより明確に見いだすことができた。今後は、補正パラメータとしての植被率の適用可能な範囲を明確にする。

引用文献

柴谷一弘 (2022) ドローンを用いた農業リモートセンシングの社会実装, 技術士(IPEJ Journal), 2022, No.8, pp. 8-11.

金谷寛子, 前田周平, 柴谷一弘, 齋藤毅, 藤井雄一, 妹尾知憲 (2023) 岡山県の「きぬむすめ」における高品質・安定生産のためのドローン空撮による NDVI を用いた生育診断. 第 256 回日本作物学会講演会, p. 51.

筆ポリゴンを活用した秋播き小麦ブロックローテーションの 作付状況の経年的把握

○國井大輔・日田アトム・船津 崇(農林水産政策研究所)・四方涼平(農林水産省¹⁾)

1. はじめに

我が国の小麦供給は輸入に大きく依存しており、近年の不安定な国際情勢に鑑みると、食料安全保障の観点から、国産小麦の生産拡大や生産性向上は重要な課題である。そこで農林水産省では、ブロックローテーションや営農技術・機械導入等による生産性向上や増産を支援する等、国産化の推進を行っている(農林水産省 2023)。今後、このような政策の効果検証やさらなる政策立案を行うためには、市町村等の行政区画やより広域な地域を対象とした、作付状況の経年的な把握、及びそれに基づく生産性向上や経営安定化等に関する分析が重要となる。さらに、行政の限られた予算の中で実態把握・分析を行うためには、簡便で安価な手法が利用できることも重要である。しかし、こうした観点からの研究はあまり進んでいない。そこで本研究では、簡便かつ安価な手法による、秋播き小麦作付状況の経年的把握を目的とし、農林水産省が公表する農地区画情報の筆ポリゴンと Sentinel-2 の光学データという無償データおよびオープンソースソフトの QGIS を用いて、小麦作付の有無を推定し、その精度の検証を行った。なお本研究では、ブロックローテーションによる麦・大豆の作付けを実施していることで知られる愛知県安城市を事例とした。

2. 方法

2018 年から 2023 年の 6 年間に於いて、小麦の成長が進むため他の土地利用との区別がしやすい 3 月から 4 月の Sentinel-2 データを各年 1 シーン選択し、それぞれの正規化植生指数 (NDVI) を算出する。それら NDVI データと筆ポリゴンを重ね、筆ポリゴンと重なり合っている範囲の NDVI の中央値をその筆ポリゴンの NDVI 値とした。次に、安城市全域の筆ポリゴンにおける NDVI の平均値を閾値とし、平均値以上を転作による秋播き小麦作付地、平均値未満を非転作地と仮定して筆ポリゴンを分類し、6 年分の秋播き小麦作付マップを作製した。その後、本手法の精度を検証するため、小麦と水稻の作付状況を記載した同市高棚町農用地利用計画図と本分析で作製した作付マップを比較し、小麦の作付有無の一致率を計算した。

3. 結果と考察

分析の結果、安城市のブロックローテーションによる秋播き小麦の作付状況を、無償データとオープンソースソフトのみで経年的に把握することができた。結果の検証のため、2018 年から 2023 年の高棚町農用地利用計画図と筆ポリゴンを重ねて小麦作付の有無を圃場ごとに整理し、分析結果の作付マップと比較したところ、各年とも筆ポリゴン数では分析結果の 84.7% から 91.8%、面積では 89.5% から 96.6% が、計画図と一致し(表 1)、本分析による作付状況把握の精度が 90% 程度であることも明らかとなった。閾値設定の改良や他地域への適用可能性の検討を行うこと

表 1 高棚町農用地利用計画図と
分析結果との一致率

	一致率(%) (筆ポリゴン数)	一致率(%) (面積)
2018	89.8	96.1
2019	89.1	95.7
2020	84.7	89.5
2021	91.1	96.4
2022	91.8	96.6
2023	88.8	94.7

で、簡易的かつ高精度の秋播き小麦作付状況把握が可能となり、その結果をもとにした政策の推進や、ブロックローテーションによる生産性向上、経営安定化等の分析への発展が期待される。

引用文献

農林水産省, 2023, 麦大豆の国産化の推進. In https://www.maff.go.jp/j/syouan/keikaku/soukatu/attach/pdf/mugimame_kokusanka-35.pdf [2023 年 10 月 6 日アクセス]

¹現, 在スペイン日本大使館。なお本研究は、農林水産政策研究所コンサルティングフェロー在籍時の研究成果の一部であり現所属の立場を代表しない。

衛星リモートセンシングによる作物生育状況判定のための リファレンス生育曲線の検討

○菊池裕介・山田真子(日本電気株式会社)

1. はじめに

本研究では、露地栽培圃場における作物の生育状況判定を客観的な基準に基づいて行うための手法についての検討を行った。リモートセンシング技術を用いて露地栽培圃場を経時的に観測することで、正規化植生指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)などの指標の推移から、作物の生育状況を類推することができる。しかし、植生指数の数値の推移のみから、ある時点での作物の生育が順調であるかどうかを判断することは難しい。そこで、品種、気象、目標収量の情報から所望の時点における期待 NDVI 値を算出し、実測 NDVI 値との差分から低収量圃場が判別可能かどうかを検証した。

2. 方法

オーストラリア・ビクトリア州で加工用トマトの栽培を行っている事業者の協力を得て、2018 年から 2022 年の 5 年間に加工用トマトが栽培された 413 圃場を対象に、圃場の位置及び形状、品種、定植日、収穫日、収量(t/ha)の情報を入手した。気象データおよび NDVI データは、各圃場の位置情報にもとづいて NASA POWER および Sentinel Hub ウェブサイトよりそれぞれ入手した。品種、定植後経過日数、積算日射量などの加工済み気象データ、実収量を説明変数、実測 NDVI 値を目的変数として、RandomForest 法を用いて学習モデルを構築した。学習済みモデルを利用してリファレンス NDVI 値を算出する際には、実収量の代わりに目標収量値として 100 t/ha を用いた。

3. 結果と考察

実測 NDVI 値と予測 NDVI 値を比較した際の決定係数は 0.637 であった(図 1A)。図 1B は、ある圃場に対して、リファレンス NDVI 値を経時的に算出して実測 NDVI 値と比較した例である。リファレンス値に対して実測値の値が低くなっており、生育遅れの原因の特定と対処が必要であることが示唆される。リファレンス NDVI 値による生育遅れの判定精度を評価するために、定植 90 日後におけるリファレンスおよび実測 NDVI 値の差分から期待収量クラス(高収量・普通収量・低収量)の分類を行い、実際の収量クラスとの一致度を調査した。その結果、期待クラスと実クラスが一致した割合(精度)は 57.9%となり、特に低収量圃場に対する再現率は 61.8%、適合率は 50.9%となった(図 1C)。同年度かつ同一品種が栽培されている圃場の平均 NDVI との差分から期待収量クラス分類を行った場合の精度は 44.6%であり、機械学習を用いてリファレンス生育曲線を算出するアプローチの優位性が示された。

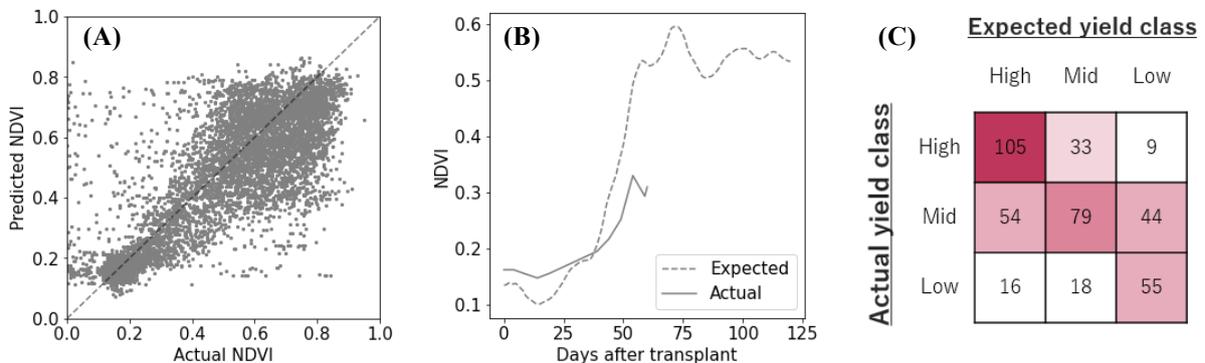


図 1. (A) 実測および予測 NDVI 値の散布図, (B) ある圃場における実測 NDVI 値とリファレンス NDVI 値の経時的変化, (C) 定植 90 日後におけるリファレンス NDVI 値による収量クラス分類の混同行列.

ハイパースペクトルカメラによるイネ玄米種子から分離される 黄色細菌の識別

高井裕一郎・[○]上松 寛・松浦貴之(横浜植防)

1. はじめに

植物検疫では、自国の農業生産を保護するため、未発生病害虫が国内外から侵入・まん延することの防止を目的としている。近年の農産物輸出国の増加及び輸入植物の多様化等により、我が国の植物に発生したことのない病害虫が侵入する機会が増加している。特に、栽植用植物が病害に汚染している場合は、それがわずかであっても侵入・まん延の危険性が大きい。イネ玄米種子※を侵入経路とする *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola* (Xoc) は国内未発生の重要病原細菌であり、検定において分離集落の黄色は重要な識別ポイントであるが、イネ玄米種子からは多くの当該菌以外の黄色細菌が分離されるため、外観色のみでこれらを選抜することは困難である。また、*X. oryzae* には 2 種類の病原型が存在し (Parte 2020)、内 1 つは国内既発生病菌 (*X. o.* pv. *oryzae*:Xoo) であり、その識別は特に困難である。本試験では、ハイパースペクトルカメラでイネ玄米種子から分離される黄色細菌の種レベル及び病原型レベルでの識別の可否及び手法の検討を行った。

※遺伝資源用途のため、完全にモミを除去し、玄米化したもの。

2. 方法

始めに、*X. oryzae* を種レベルで識別可能か調査した。供試菌株は、*X. oryzae* 5 菌株及び *Pantoea ananatis* 2 菌株とした。YDC 培地又は PPGA 培地で培養し、ハイパースペクトルカメラ (NH-1) を用いてスペクトル情報を取得した。スペクトルカーブを比較し、解析に用いる波長及び解析方法を検討した。解析方法には、2 波長間の差分の比較 (傾き解析) 及び Spectral Angle Mapper (SAM) 解析を用いた。次に、上記で検討した方法で *X. oryzae* とイネもみから分離された黄色細菌 15 菌株を識別可能か確認した。最後に、病原型の識別について調査した。供試菌株は、Xoo 3 菌株及び Xoc 2 菌株とし、YDC 平板培地又は PPGA 平板培地で培養し、解析に用いる波長及び解析方法を検討した。

3. 結果と考察

スペクトルカーブを比較した結果、440 nm から 500 nm 付近で交差する傾向が確認されたことから、当該領域を解析の候補とした。傾き解析では、供試した両方の培地において、450 及び 500 nm の波長を使用することで *X. oryzae* と *P. ananatis* を明瞭に識別することができた。SAM 解析では、供試した両方の培地において、440–500 nm の領域で *X. oryzae* と *P. ananatis* を明瞭に識別することができた。また、これら検討した条件で *X. oryzae* とイネ玄米種子由来黄色細菌を識別することができた。病原型の識別では、YDC 培地上の菌体について、530–580nm の SAM 解析で Xoo と Xoc を識別することができた。傾き解析では解析に適する波長を見出すことができなかつた。また、PPGA 培地ではこれらの識別はできなかつた。

以上の結果から、本試験で検討したハイパースペクトルカメラによる 450 及び 500 nm の傾き解析並びに 440–500 nm の SAM 解析によって、*X. oryzae* とイネもみ由来黄色細菌を識別することができ、当該方法を用いた外観識別の有効性が示唆された。なお、病原型の識別については、菌株間差異にかかる検討を追加で実施する必要があると考える。

引用文献

Parte, A.C., Sardà Carbasse, J., Meier-Kolthoff, J.P., Reimer, L.C. and Göker, M. (2020) List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature (LPSN) moves to the DSMZ. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, Vol. 70, pp. 5607–5612.

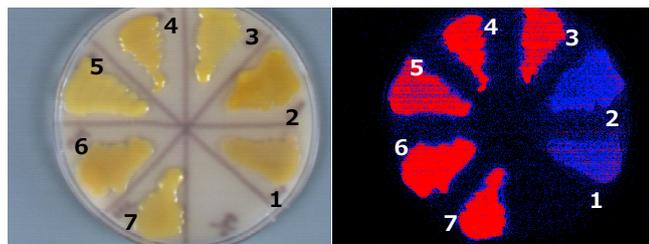


図 1. ハイパースペクトルカメラによる *X. oryzae* と *P. ananatis* の識別 (YDC 培地) (1–2: *P. ananatis*, 3–7: *X. oryzae*).

イネ玄米種子の病原糸状菌 3 属の胞子を識別する AI の試作

○松山美優・上松寛・本蔵洋一・松浦貴之(横浜植防)

1. はじめに

植物病原糸状菌を対象とした輸入種子の植物検疫では、外観検査を受けた後、異常が認められた種子についてはブロッター法による検査が行われることが多い。ブロッター法で種子を培養すると、複数の種類の糸状菌が混在して生育することがある。イネ玄米種子※においても、糸状菌が複数観察されることは多く、これらを迅速に識別するには知識と経験が求められる。今般注目を浴びる物体検出 AI を用いて、顕微鏡画像中の胞子から糸状菌を識別する補助ツールを作成することで、検査の迅速化が期待される。そこで本研究では、日本でイネの重要病原菌とされる種や輸入検査で発見される種を含む *Pyricularia* 属菌、*Bipolaris* 属菌及び *Curvularia* 属菌をモデルとして胞子識別をする物体検出 AI の作製を試みた。

※遺伝資源用途のため、完全にモミを除去し、玄米化したもの。

2. 方法

本研究では、イネの病原糸状菌が含まれる *Pyricularia* 属、*Bipolaris* 属及び *Curvularia* 属の胞子を生物顕微鏡にマウントしたカメラで撮影し、画像データを用意した。これらの画像データについて、VoTT (<https://github.com/microsoft/VoTT>)を用いて、アノテーションを行った。アノテーションでは、*Pyricularia* 属、*Bipolaris* 属及び *Curvularia* 属の 3 クラスを設定した。アノテーションを行った画像を 8:2 の比率で train データ(848 枚)と validation データ(213 枚)にランダムに振り分け、転移学習用データセットとした。本研究では、Darknet (<https://github.com/pjreddie/darknet>)で実装した物体検出アルゴリズム YOLOv7 (Wang *et al.*, 2022)を用いて、学習回数 10,000 回の転移学習を行った。この学習には、GPU (NVIDIA, GeForce RTX3090)を搭載したコンピュータを使用した。Loss 値及び mAP 値から最良と判断した重みファイルを用いて、各クラス 10 枚程度の test データに対する物体検出を行った。

3. 結果と考察

転移学習に用いた画像データ数及び各クラスにおける胞子のアノテーション数を表 1 に示した。このデータセットを用いた転移学習では、学習回数 4,000 回で loss 値が 3 を下回り、以後学習回数が増えるにつれて、loss 値は緩やかに減少した。また、mAP 値は、学習回数 8000 回以降、90%以上を推移し、best mAP 値(97.3%)を示した学習回数約 9,000 回時点で最良の重みファイル(best.weights)が保存されたことから、本研究ではこの重みファイルを採用した。植物病原糸状菌 3 属の胞子の検出例を図 1 に示した。胞子以外の誤検出や他クラスとの誤判別は見られず、検出の精度を表す F 値は 0.94 を示したことから、高い精度で病原糸状菌 3 属を識別できるモデルが得られたと考えられた。輸入検査時に見つかるイネ玄米種子の病原糸状菌は、今回供試した 3 属以外にも存在することから、今後はそれらにも対応するモデルを作製していく。

表 1 画像データ数及び胞子のアノテーション数

クラス名	画像データ数	アノテーション数
<i>Pyricularia</i>	204	889
<i>Bipolaris</i>	648	751
<i>Curvularia</i>	212	374

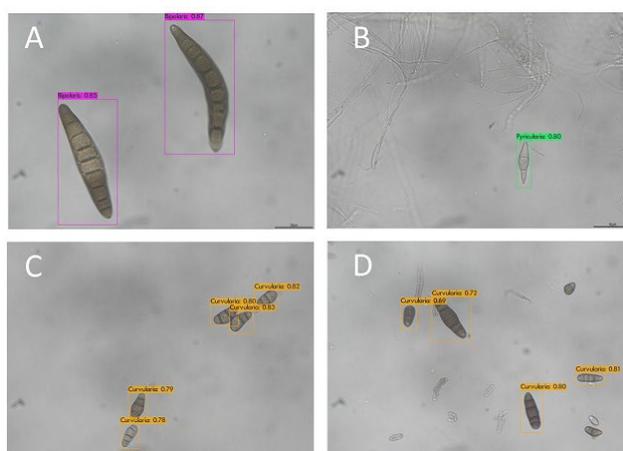


図 1. 学習した YOLOv7 による検出。A は *Bipolaris* 属菌, B は *Pyricularia* 属菌 C 及び D は *Curvularia* 属菌.

引用文献

Wang, C.Y., Bochkovskiy, A. and Liao, H.Y.M. (2022) Yolov7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. *arXiv*, 02696. doi: 10.48550/arXiv.2207.02696.

ブドウ栽培管理のロボット化に向けた開花状況判断技術の開発

○吉利怜奈(農研機構ロボ研)・杉浦裕義(農研機構果茶研)

1. はじめに

ブドウの栽培管理において、花穂整形やジベレリン処理など果実品質に直結する重要な作業が開花期前後の5月中旬から6月に集中しており、省力化が強く求められている。また、これらの作業は適期があり、適期に作業できないと、果房の湾曲や花振るい(花の落下)等が発生し、果実品質の低下を招く(農文協編2022)。そこで本研究では、ブドウの栽培管理のロボット化に向け、AI画像処理の分類技術の利用により各果房の開花状況を把握して、花穂整形およびジベレリン処理の適期を判断する技術の開発を行った。

2. 方法

2022年5月～6月に農研機構果茶研(つくば市)のブドウ圃場において短梢剪定栽培のブドウ(巨峰, ピオーネ, シヤインマスカット, 安芸クイーン)の花穂写真を取得した。撮影にはiPhone 11(Apple Inc.)のカメラを使用し、花穂の後ろに白いボードを設置し撮影した(図1)。花穂整形の適期は開花期(花穂整形前の花穂のうち1花以上咲いていれば開花)であり、ジベレリン処理の適期は満開期(花穂整形後の花穂ですべて開花)である。品種は混在させた状態で、一つの画像に一つの花穂が入るようにトリミングし集めた画像を①開花前(692枚), ②開花後(267枚), ③満開前(772枚), ④満開後(208枚)の4つにグループ分けを行った。そして、①開花前か②開花後かを分類して花穂整形適期かどうかを判断するモデルと、③満開前か④満開後かを分類してジベレリン処理適期かどうかを判断する2つのモデルを作成した。モデル作成では、取得した2グループの画像をランダムに5つに分け、その後、学習用とテスト用に4:1、学習用データはさらに訓練用と検証用に3:1に分けた。訓練用データを5倍に拡張し(ランダムに拡大・縮小, 90度まで回転, 垂直・水平移動, 反転), VGG16の学習済みモデルをファインチューニングし、テストデータで予測した。5つに分けた各データをテスト用データとし、モデルの作成から予測までを各データで計5回行った。花穂整形では、開花後を見逃さないこと、ジベレリン処理では、満開の前に処理をすることが問題となるので満開前を満開後と判断しないことが重要である。以上のことから、花穂整形適期判断モデルでは、開花後を真陽性としたときの再現率(recall: $TP/(TP + FN)$), ジベレリン処理適期判断モデルでは、満開後を真陽性としたときの適合率(precision: $TP/(TP + FP)$)によりモデルの評価を行った。また、モデルの性能を総合的に判断するため、F値($2 \times \text{precision} \times \text{recall} / (\text{precision} + \text{recall})$)の算出を行った。



図1. ブドウの花穂写真.

3. 結果と考察

花穂整形適期判断モデルでは、5つのモデルの再現率の平均が0.97, F値の平均が0.95だった。ジベレリン処理適期判断モデルでは、適合率の平均が0.73, F値の平均が0.74だった。本研究で使用した写真は、白い背景をつけて撮影したものであり、自然な状態で撮影した写真を利用すると精度が下がる可能性が高く、また、全体的に取得した枚数が少ないため、より大量のデータを集め予測精度の向上を図る必要がある。今後の課題として、現在開発中の巡回ロボットによるデータ収集の自動化、ロボットハンドによる花穂整形やジベレリン処理への応用などがある。

謝辞

この研究は、国際競争力強化技術開発プロジェクト「農作物に適したロボットアーム等を活用した農作業自動化技術の開発」によって行われた。

引用文献

農文協編 (2022) ブドウ大辞典. 農山漁村文化協会, 東京都.

深層学習を用いた雑草識別に関する研究

○塩崎賢悟・神田英司(鹿児島大農)

1. はじめに

有機栽培農家は雑草防除の方法として手取り除草や除草機による除草を行っているが、株間など作物周辺の機械による除草は側根の損傷、マルチの巻き込みなどの可能性もあり、機械除草は困難である。これらの背景から、雑草をリアルタイムで個別に認識し、作物には影響を与えずに物理除草が可能な地上走行除草ロボットの開発が求められている。本研究では、除草ロボットの雑草認識部分の開発を目的とし、YOLOv5を用いた深層学習により、リアルタイムに雑草を識別する手法を検討したので報告する。

2. 方法

学習に用いる画像は鹿児島大学附属農場内で栽培しているオクラ付近に生えている雑草を DEERC 製のラジコンカー「DE65」を用い、6～8月に定期的に撮影した。撮影された動画から静止画を1秒ごとに抽出し、YOLOv5に取り入れ学習を実施した。また学習画像の解像度を上げた場合とのスコアの比較を行った。さらに背景部分が学習に影響しないように、学習画像において大半が背景である部分の画素の値を0にすることでスコアにどのような影響を与えるかも検証した。この時、5分割交差検証を行うことでモデルの汎用性を調査した。

3. 結果と考察

学習画像の解像度を上げた場合のスコアの比較を図1に示す。Precisionはスコアが減少し、recall, mAP0.5はスコアが増加したものの、いずれも差はわずかであり、解像度の違いによる明らかな差はみられなかった。また解像度が640×360と1280×720とでは学習に要する時間も大きく変わるため、今後は解像度が640×360の画像を用いて解析する。

学習画像で背景が大半を占める部分は画像の上部(1～180行)であった。この背景部分の画素値を0にした場合のスコアの比較を図2に示す。すべてのスコアにおいてオリジナル画像より優れる結果となった。特に雑草検出において重要なprecisionに注目すると、全5回すべての学習においてオリジナル画像の場合よりもスコアの値は高く、学習画像の背景部分(1～180行)の値を0にすることは雑草検出において有用であると考えられる。

引用文献

藤原和史, 杉浦綾, 鶴田克之 (2020) 畳み込みニューラルネットワークを用いた寒地型イネ科牧草採草地におけるギシギシ類検出手法の開発. 日本草地学会誌, Vol. 66, No. 2, pp. 81–90.

Yang, Y., Zhou, Y., Yue, X., Zhang, G., Wen, X., Ma, B., Xu, L. and Chen, L. (2023) Real-time detection of crop rows in maize fields based on autonomous extraction of ROI. *Expert Systems with Applications*, Vol. 213, Part A, 118826.

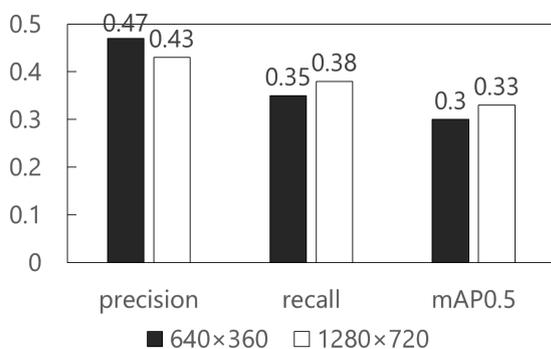


図 1. 学習画像の解像度が640×360と1280×720の場合の比較.

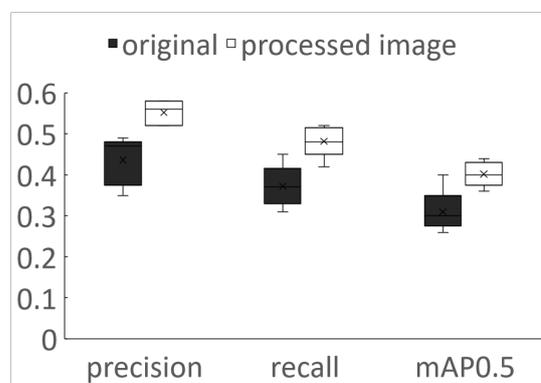


図 2. 学習画像の1～180行目にある画素の値を0にした場合の比較.

富士北麓におけるニホンジカの生態観測ネットワークの構築

○安田泰輔・中村圭太・水村春香(山梨富士山研)・中山智絵(グリーン航業株式会社)・高田隼人(農工大)・渡邊 修(信大農)

1. はじめに

ニホンジカ(*Cervus nippon*, 以下シカと呼ぶ)の食害は農耕地や植林地で問題となっているが、個体群の増加とともに亜高山帯や高山帯など高標高域にも分布し高密度化することで、植生の衰退やニホンカモシカ等との競合など生態系の改変が懸念される状況となっている。本研究ではIoT自動撮影カメラと深層学習を用いた広域的な観測網を構築し、シカの出没状況や季節的な移動など行動特性に関する情報から捕獲効率向上を目指した研究を実施している。本発表ではIoT自動撮影カメラと深層学習の観測網の概況について報告する。

2. 方法

富士山北麓(山梨県側)を対象として、東西約28km×南北約16kmの範囲に約2km間隔でIoT自動撮影カメラ(株式会社ハイク, 北海道)を50台設置した。本カメラはLTE通信に対応しており、撮影された映像を指定したURLもしくはメール添付として送信する機能を有する。本研究では稼働状況把握のために12時間おきに1枚撮影するとともに、動物が撮影された際は1枚撮影し、リアルタイムでメール転送するよう設定した。撮影された画像はメール添付され、一度研究所のメールサーバに蓄積された後、画像とともに撮影日時、バッテリー状況、通信状況といったメタデータを含め、10分ごとに解析用PCにデータベースとして送るようシステムを構築した。データベースから動物種を特定し、教師データを作成した。これらのシステムはpython 3.9にて記述した。

3. 結果と考察

IoT自動撮影カメラを設置した結果、ほぼ遅延なく画像データが転送されており、準リアルタイムでの観測が確認された。富士山周辺では電波状況が良くない地域もあるため、転送時の遅延も想定されたがそのような遅延はほとんどなかった。一部で撮影されたものの電波状況が悪いことから送信がされなかったケースが見られた。

転送された画像から動物種の教師データを作成し、シカとシカではない動物の2クラス分類を物体検出モデルYOLOv8(Jocher, et al. 2023)にて行った。使用した教師データ数は1765であり、訓練データと評価データ、テストデータはそれぞれ1059, 353, 353とした。YOLOv8のトレーニング後、テストデータでモデルの評価を行った結果、 $mAP50 = 0.877$ と性能の高い分類モデルが得られた(図1)。今後、シカのオスメスが分類できるモデルを作成し、管理に有効な情報を提供できるよう開発を進める。

謝辞

本研究は山梨県総合理工学研究機構成長戦略研究にて実施された。



図1. IoT自動撮影カメラにて撮影されたシカ(オス)と物体検出モデルYOLOv8による検出結果.

樹種分類への WorldView-3 の短波長赤外波長帯の利用

○米澤千夏・鈴木汐音(東北大院農)・村田裕樹 (東大先端研)・竹島喜芳(中部大)

1. はじめに

広域を観測する衛星リモートセンシング画像による樹種分類は、森林管理の効率化に資する。日本の森林の約 3 割は人工林のスギ、ヒノキ、マツ類である。これらは常緑針葉樹であり、スペクトル特性が似ており季節変化が少ないことから、可視光から近赤外領域までのマルチスペクトル画像のスペクトル情報のみを用いた画像分類では区別することが難しい。一方で、より波長が長い短波長赤外波長帯 (Short wave infrared: SWIR) は植生の含水率に敏感であり、樹種分類への有効性が指摘されている (Murakami 2006 など)。SWIR は多くの地球観測衛星のセンサに採用されている。なかでも、現在運用されている WorldView-3 は地上分解能 (直下) 3.7 m で、1195~2365 nm までの短波長赤外の波長域を 8 つに区分したバンドを観測可能である。ここでは、WorldView-3 の 8 つの SWIR バンドについて、針葉樹を含む樹種分類への有用性について検討した。

2. 方法

2021 年 4 月 12 日に岩手県陸前高田市の森林を観測した WorldView-3 のマルチスペクトル 8 バンドおよび SWIR8 バンドを解析対象とした。マルチスペクトル 8 バンドのみの場合、マルチスペクトル 8 バンドに対して、SWIR1~8 までをそれぞれ加えた場合、すべての SWIR バンドを加えた場合の、計 10 とおりのバンド組み合わせに対して画像分類を行った。環境省自然環境保全基礎調査第 6-7 回植生図、小友・広田地区森林計画図、Google Earth Pro を参照してトレーニングデータを作成し、対象地域をアカマツ・スギ・ヒノキ・タケ・その他広葉樹 (主にコナラ)・水域・畑地・水田・草地・人工物・影の 11 カテゴリにサポートベクターマシンによって分類した。画像分類においては、まず水域・畑地・水田・草地・人工物・影に分類された画像から森林地域を抽出した画像を作成し、さらに森林地域を樹種ごとに分類した。

3. 結果と考察

マルチスペクトルバンドに加えてすべての SWIR バンドを用いた場合の分類の総合精度は 94%、Kappa 係数は 0.92 であり、検討したバンド組み合わせの中で最も高い精度を示した。利用者精度、作成者精度ともタケ、その他広葉樹においては 0.97 以上、アカマツ、スギ、ヒノキは 0.9 以上となった。最も精度が低くなったのはマルチスペクトル 8 バンドのみの場合であり、総合精度 80.7%、Kappa 係数 0.73 であった。SWIR バンドを加えることにより情報量が増加し、分類精度が向上したことが考えられる。それぞれのバンドを加えた場合、今回の分類では SWIR5 (2145–2185 nm) が最も総合精度がよく 93%となった。総合精度は SWIR3 (1640–1680 nm) の場合 92%、SWIR4 (1710–1750 nm) および SWIR6 (2185–2225 nm) の場合 91%となった。1730 nm、2180 nm は窒素の吸収帯に相当する (Curran ら 2001) が、ハイパースペクトル観測で葉の形質を推定するにはバンド幅が 20nm 以下である必要が指摘されている (Nakaji ら 2019)。葉の形質には樹齢などの影響も大きく、また WorldView-3 の SWIR2~6 のバンド幅は 40 nm であるものの、WorldView-3 による樹種分類における SWIR の有効性を確認できた。

謝辞

本研究は、中部大学・問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究 IDEAS202320 の支援を受けたものである。小友・広田地区森林計画図は陸前高田市役所農林課に提供いただいた。

引用文献

- Curran, P.J., Dungan, J.L. and Peterson, D.L. (2001) Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry: Testing the Kokaly and Clark methodologies. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 76, No. 3, pp.349–359.
- Murakami, T., 2006, How is Short-wave Infrared (SWIR) Useful to discrimination and classification of forest types in warm temperate region?. *Journal of Forest Planning*, Vol. 12, No. 2, pp. 81–85.
- Nakaji, T., Oguma, H., et al. (2019) Estimation of six leaf traits of East Asian forest tree species by leaf spectroscopy and partial least square regression. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 233, 111381.

ドローンから衛星へ：北海道の採草地におけるドローン空撮画像の植生分類

○川村健介・大越証路(帯畜大)・田中常喜・秋山雄希(道総研酪農試)
・岡元英樹・二門 世(道総研天北支場)・安田泰輔(山梨富士山研)

1. はじめに

近年，無人航空機（以下，ドローン）を活用した草地研究の発展により，草量・草高の推定や雑草検出（Yuba ら 2021），植生分類（安田 2018）等の知見が集積しつつある。しかし，北海道のように大面積の草地（>5 ha）では，実用面（飛行時間が長くなるため複数のバッテリーが必要になる等）で多くの課題が残る（川村ら 2023）。現在，我々のグループでは，北海道の採草地モニタリングを衛星画像へスケールアップする目的で，ドローンによる教師データの構築を進めている。本報告では，統一した飛行方法で，道北・道東・十勝エリアで一番草収穫前に空撮したドローン画像のうち，十勝エリアにおける植生判別の結果について報告する。

2. 方法

帯広畜産大学畜産フィールド研究センター（FSC）内の M7C 採草地圃場で，1番草収穫前の 2023 年 5 月 23 日の空撮画像を使用した。ドローン空撮は，Parrot ANAFI を使用し，高度 35 m で空撮した。植生タイプは，オーチャードグラス（OG），ホワイトクローバー（WC），タンポポ（TX），土壌（BG）の 4 つとし，QGIS を用いて教師データセットを作成した。植生判別には，オブジェクト指向型画像解析とランダムフォレストを組み合わせた OBIA-RF（安田 2018）を用いた。

3. 結果と考察

分類結果の再現率と適合率は，オーチャードグラス（OG:0.90, 0.79）とホワイトクローバー（WC:0.84, 0.91），土壌（BG:0.87, 0.85）と高い精度を示したが，タンポポ（TX:0.56, 0.69）で若干低い値を示した。全体の分類精度は，0.81 であった。植生分類の結果（図 1），圃場の外側に多くタンポポが分布していることがわかる。

謝辞

本研究は，北海道立総合研究機構重点研究（令和 5-7 年度）の共同研究として実施した。

引用文献

川村ら（2023）ドローン飛行高度と地上分解能の関係．日本草地学会誌，Vol. 69，pp. 138-144.

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，Vol. 64，p. 43-47.

Yuba *et al.* (2021) Discriminating *Pennisetum alopecuoides* plants in a grazed pasture from unmanned aerial vehicles using object-based image analysis and random forest classifier. *Grassland Science*, Vol. 67, p. 73-82.

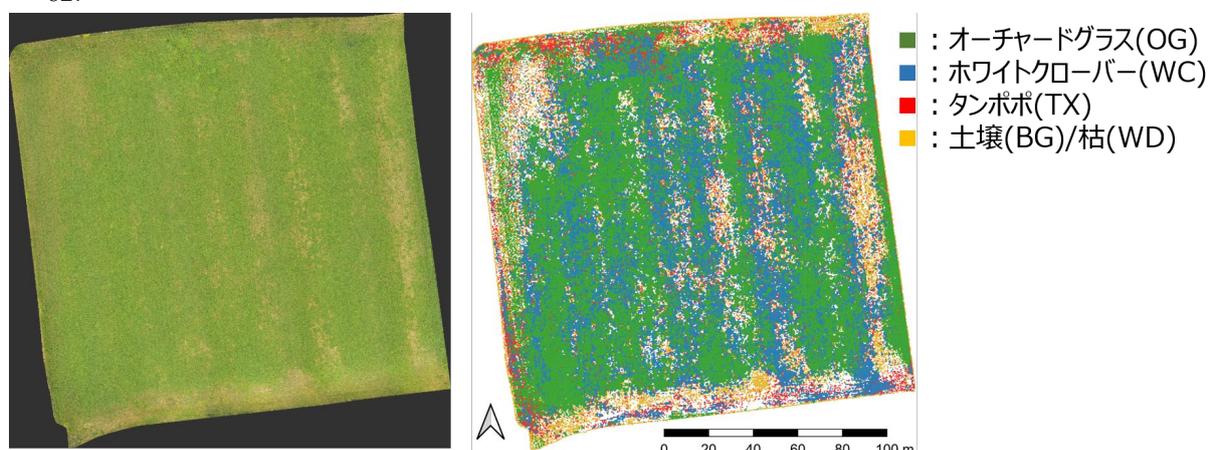


図 1. ドローン RGB 画像(左)と SLIC-RF による植生分類図(右).

北海道の採草地におけるイネ科草種判別に適した UAV 撮影時期の検討

○田中常喜(道総研酪農試)・板垣英佑(道総研北見農試)・岡元英樹(道総研天北支場)・秋山雄希(道総研酪農試)・牧野 司(道総研酪農試)・二門 世(道総研天北支場)

1. はじめに

草地の状態を知る重要な情報のひとつ、草種構成を広域的に把握する技術として、UAV や光学衛星によるリモートセンシングがある。圃場内の生育が不均質な草地においては、生育量の情報も含む光学情報から、各草種の反射特性の違いを捉える必要がある。加えて、その反射特性は生育に伴い変化するため、判別に適した時期について明らかにする必要がある。そこで、本研究は、UAV 空撮を4月から11月にかけて約1週間間隔で行い、北海道の採草地で主要なイネ科草種の判別に適した時期を検討した。

2. 方法

酪農試験場試験圃場(中標津町)で更新したチモシー、オーチャードグラス、リードカナリーグラスおよびシバムギの純群落について、窒素施用量と刈取り時期に試験処理を設け、4反復で実施した圃場(板垣ら2023)を対象とした。調査は、Sequoia マルチスペクトルカメラを搭載した Parrot Bluegrass (Parrot 社)を用いて、2021~2022年の4月下旬~11月中旬にかけて、約1週間間隔で、空撮(地上高度約50m, GSD≒4.7cm)を行った(ただし、オーチャードグラスについては2022年のみ)。各時期に撮影した画像は、Pix4DmapperによりGreen, Red, Red-edge および NIR の反射率オルソモザイクを作成した。試験区(2.5 m × 2.5 m)の中央部に目視で作成したポリゴン(1.8 m × 1.8 m)で、4バンドの反射率の平均値を抽出し、草種判別の説明変数とした。各時期の撮影画像(n = 120~130)について、通算日数(DOY)を基準に10前後以内の別日の撮影画像(n = 120~1000)から草種をランダムフォレストで学習し、該当画像の判別精度をROC曲線の曲線下面積(AUC)により評価した。また、各画像(n = 120~130)について草種判別を行い、Permutation feature importance (PFI)により説明変数の重要度を算出した。

3. 結果と考察

2022年のAUCスコアは、2021年よりも低い傾向が見られた。この理由は、2022年の草種判別は、オーチャードグラスを加えた4草種であったためと考えられた。撮影時期別の判別精度は、5月下旬から6月上旬の1番草生育期(158 DOY 前後)と11月上旬の晩秋(305 DOY 前後)でAUCスコアが概ね0.80以上と高かった(図1)。説明変数の重要度は、1番草生育期ではGreenとRed-edgeが、晩秋ではRedが相対的に高かった。6月と11月の複数時期の撮影画像からチモシー、リードカナリーグラスおよびシバムギを判別した牧野ら(2019)を支持する結果であった。また、本試験では、一時期の撮影による草種判別の可能性も示唆された。今後の試験では、刈取り時期に左右されない5月下旬から6月上旬の1番草生育期に撮影時期を限定し、光学衛星による採草地の植生判別へ展開する予定である。

引用文献

板垣英佑, 田中常喜, 岡元英樹, 二門 世, 有田敬俊, 大塚省吾, 笛木伸彦 (2023) 窒素施肥量が地下茎型イネ科雑草の収量と水溶性炭水化物に及ぼす影響. 2023年度日本土壌肥料学会, 愛媛, 2023年9月12-14日.

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, Vol. 7, pp. 1-6.

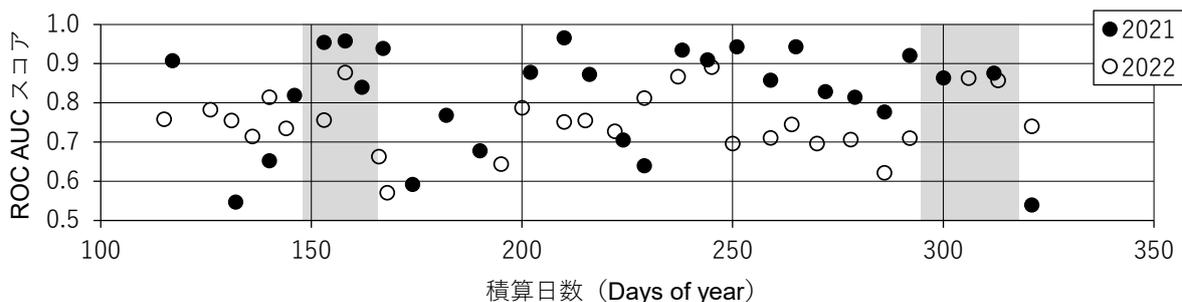


図1. 調査時期別のイネ科草種の判別精度.

Planet 衛星画像を用いたミャンマー山岳地域の焼畑エリアの検出

○渡邊 修(信大農)・柴田京子(NPO 法人地球市民の会)

1. はじめに

焼畑農業はラオス、タイ、ベトナム、中国、バングラデシュ、インドなどアジア山岳地帯の広域な範囲で重要な食料生産システムとして行われてきた。焼畑はある土地の現存植生を伐採・焼却等の方法を用いることによって整地し、作物栽培を短期間行った後に放棄し、植生遷移によってその土地を回復させる休閑期間を経て、再度利用する循環的な農耕システムである(福井 1983)。ミャンマーの山岳地域では古くから焼畑農業が行われてきたが、近年の政情不安やコロナ禍の影響で焼畑の実態を把握することは困難となっている。本研究ではミャンマー北西部インド国境近くの CHIN 州ライレンピー町を対象に、焼畑農業の現状に関する聞き取りで農暦を明らかにするとともに、高頻度かつ高解像度衛星 (Planet Scope) を利用した効率的な焼畑エリアの検出法を検討し、ミャンマー山岳地域での焼畑の実態を調査した。

2. 方法

CHIN 州ライレンピー町を対象として 2018~2019 年に、認定 NPO 法人「地球市民の会」で焼畑農業の現状に関する聞き取り調査を行った。1 回目は 2018 年 2 月 22~23 日、2 回目は 2018 年 3 月 19~20 日、3 回目は 2019 年 5 月 23~26 日に実施し、農暦、作付品目、作業内容等の聞き取りを行った。ライレンピー町南部の約 480km² (25.85 km × 18.58 km)、中心座標 (N21.814, E93.061) を対象に、Plant Labs (Education and Research Program) を利用し、地上分解能 3m の高解像度衛星 (Planet Scope) の 4 バンドもしくは 8 バンド衛星画像を、2019 年から 2023 年の期間で取得した。解析エリアは標高 84 m から 1,328 m、大部分が標高 500 m を超える山岳地帯である。焼畑を行うエリアでは乾季に伐採し、夏季に火入れが行われている。画像解析エリアを対象に植生指数の変化から焼畑エリアを効率的に検出する方法を検討した。

3. 結果と考察

2018 年から 2019 年の調査で CHIN 州ライレンピー町の世帯数は 433、人口 2026 人、農業に従事している世帯数は 365 (84%)、そのうち焼畑農業を行っている世帯は 90% であった。農作業の聞き取りから、ライレンピー町の農暦を調べた結果、主食はトウモロコシと陸稲で、乾季 (1 月から 2 月) に伐採、夏季 (3 月) に火入れ、暑季 (4 月) に播種、雨季 (6~8 月) に除草、10~11 月に収穫が行われていた。収穫・運搬が終わると畑は放置され、7 年間の休閑期間に入る。調査地では 1 年栽培・7 年休閑の 8 年サイクルで焼畑が行われることが示された。

農暦をもとに、多時期衛星画像を確認した結果、11 月から 3 月の画像の比較によって、焼畑用の森林伐採が確認された。また 3 月の画像では火入れ時の煙や火入れによって植生指数が大幅に低下する場所が複数確認された。植生指数の差分 (11~3 月) から、植生指数が大幅に低下した場所と、火入れ場所がほぼ一致した。2022 年と 2023 年の焼畑推定エリアを比較すると、前年焼いた場所から数 km 移動して焼いていることが示され、移動式焼畑が現在も行われていると推定された (図 1)。

引用文献

福井勝義 (1983) 焼畑農耕の普遍性と進化—民俗生態学的視点から。山民と海人-非平地民の生活と伝承、小学館、pp. 235-273.

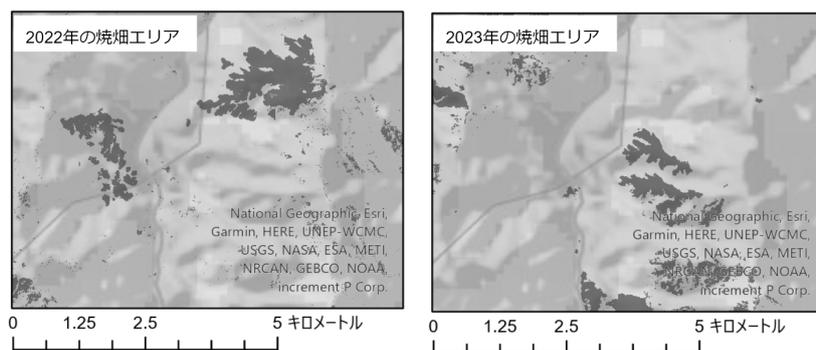


図 1. Planet Scope の植生指数画像から推定したライレンピー町南部の焼畑エリア (2022 年と 2023 年)。

衛星高度計を用いたカンボジアにおける洪水氾濫原の水位変化

○酒井 徹・張 可(国際農研)・Thav Sopheak(カンボジア王立農大)・
飯泉仁之直・眞崎良光(農研機構)・大吉 慶(JAXA)

1. はじめに

カンボジアでは雨季になるとメコン川やトンレサップ川などの河川に沿って毎年洪水が発生する。カンボジアでは、灌漑施設が十分に整備されていないため、多くの住民は洪水がもたらす水資源や肥沃化した土壌など、洪水の正の部分を活用することで生活を営んでいる。結果として、洪水が頻発する標高が 30 m 以下の低地に大部分の水田が分布している。しかしながら、洪水には負の部分も存在する。最も大きな洪水被害を受けるのも低地にある水田である。洪水被害は年によって大きく変化し、数万～数十万ヘクタールの水田が洪水被害を受ける。そのため、洪水によって農業に適さない地域や時期を明らかにし、適切な栽培管理を行うことが極めて重要となる。

能動型マイクロ波センサを搭載した人工衛星は、洪水などの災害状況の把握に利用される。マイクロ波は雲を透過することができ、また、水面で鏡面反射する特性を持つため、悪天候な状況下での洪水の検出に優れている。しかし、元来、水田は入水していることが多いため、水田が洪水被害を受けているかどうかの判別は難しい。本研究では、衛星高度計と組み合わせることで洪水氾濫原の水位変化を明らかにし、洪水被害の程度を明らかにすることを試みる。

2. 方法

カンボジア中央を縦断する Sentinel-1 衛星のパス 26 (Ascending) の画像内を研究対象域とする。南部にあるベトナム・メコンデルタの河口域も研究対象域に含める。

マイクロ波センサを搭載する Sentinel-1 衛星は 12 日間隔で同一地点を繰り返し観測しており、2022 年に撮影された 30 シーンを解析に利用した。欧州宇宙機関(ESA)が提供するソフトウェア SNAP を利用して VH 偏波の後方散乱係数を求めた。また、VH 偏波の後方散乱係数を二値化処理することによって浸水域を求めた。

Sentinel-3 衛星に搭載された高度計から標高値を抽出した。研究対象域内には、Ascending と Descending を含めて 13 のパスのデータが含まれていた。2022 年においては、1 つのパスにつき、9～12 の観測データがあった(およそ月 1 回のデータ取得)。Sentinel-3 の標高値にはノイズ(異常値)がみられたので、フィルタ処理(メディアンフィルタ)によってノイズを除去した。Sentinel-3 の標高値の検証データとして、30 m の空間解像度の ASTER Global Digital Elevation Map (GDEM) を用いた。メコン川委員会が提供する河川水位データも入手したが、観測地点に大きなズレがあったので、検証データとしては利用しなかった。

3. 結果

メコン川委員会から提供された河川水位データをみると、研究対象域内の上流部と下流部で水位のパターンに違いがみられた。上流部(カンボジア)では、雨季と乾季で水位が大きく異なり、最大で 7 m 程の水位差があった。また、水位が高くなる雨季に洪水氾濫が起きていることが Sentinel-1 画像から確認できた。さらに、Sentinel-3 の高度計からも乾季から雨季にかけて氾濫原内で水位(標高)が徐々に上昇していく過程を把握することができた。場所によっては、イネの草丈以上の水位変化があった。

一方、下流部(ベトナム・メコンデルタ)では、水位の季節変化はみられず、半日周期の潮汐による変化が主であった。水位は±2 m の変動幅でゆっくりと上下に変化した。下流部では、Sentinel-1 と Sentinel-3 から洪水氾濫として検知されるところはなかった。

4. まとめ

洪水氾濫の面的データ(Sentinel-1)に高さ情報(Sentinel-3)を加えることによって洪水氾濫を立体的に把握することが可能となる。洪水常襲地域において、冠水耐性の強い品種の導入や栽培スケジュールの検討のための情報として活用されることが期待される。

アミノ酸バランス改善飼料を用いた採卵鶏の GHG 排出量評価

〇瀬戸口暁・大石風人(京都大院農)・荻野暁史(農研機構)・広岡博之(京都大院農)

1. はじめに

世界的な環境問題への関心が高まる中、アミノ酸要求量を満たしつつ粗タンパク質 (CP) 含量を低下させたアミノ酸バランス改善飼料 (以下、低 CP 飼料とする) を家畜に与えることで生産性に悪影響を与えることなく窒素排泄量を低減させる技術が注目されている。そこで本研究では、採卵鶏への低 CP 飼料給与による環境負荷低減効果を評価することを目的に、ライフサイクルアセスメント (LCA) による環境影響評価を実施した。

2. 方法

本研究では、前大会で発表した栄養学的モデルによる採卵鶏の生涯生産のシミュレーションを行った。採卵鶏への低 CP 飼料給与の影響を評価するために、採卵期に低 CP 飼料を給与した試験結果 (飯尾ら 2021, Iio *et al.* 2023) を元に、採卵期において慣行飼料と CP 含量を 2 ポイント低下させた低 CP 飼料の 2 つの区を設け、それぞれ飼料原料の構成および堆肥化の排出係数を設定した。また採卵鶏は白玉鶏種および赤玉鶏種の 2 つの鶏種について評価した。LCA 分析については、初生ヒナの導入から採卵期間を終えるまでに関連する飼料生産、飼料輸送、飼養管理、排泄物管理のプロセスを調査範囲とし、機能単位として鶏卵 1 トンあたりの温室効果ガス (GHG) を二酸化炭素等量で算出した。

3. 結果と考察

採卵鶏のモデルシミュレーションの結果、採卵期に低 CP 飼料を与えた場合、慣行飼料の場合と比較して排泄物中窒素量は 20% 低下し、さらに排泄物から排出される窒素化合物中の窒素量は 37% 低減した (図 1)。また赤玉鶏種は飼料給与量が増加するため排泄物中窒素量は白玉鶏種よりも増加した。

LCA 分析の結果、低 CP 飼料給与によって両鶏種においても GHG 排出量が 5% 低減できることが示唆された。GHG 排出量が低減した原因としては、排泄物からの GHG 排出の低下に加えて、低 CP 飼料の原料構成において排出原単位の大きいコーングルテンミールや大豆粕の構成割合が減少したことが挙げられる。

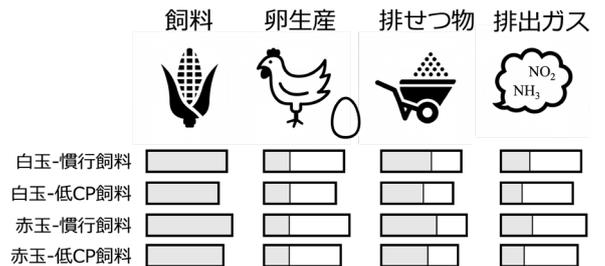


図 1. 飼料中窒素の卵、排泄物および排泄物からのガスへの分配量。
太棒は窒素摂取量を示し、グレー部は各区分に分配された窒素量を示す。

謝辞

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「畜産からの GHG 排出削減のための技術開発」(JPJ011299) の補助を受けて行われたものであり、ここに謝意を表します。

引用文献

飯尾恒, 山下薫, 島田理紗, 荻野暁史, 野中最子, 長田隆 (2021) 産卵前期採卵鶏への低タンパク質飼料給与が生産性や堆肥化過程における環境負荷ガス排出に及ぼす影響. 日本畜産学会報, Vol. 92, No. 4, pp. 485–491.

Iio, W., Shimada, R., Nonaka, I. and Ogino, A. (2023) Effects of a low-protein diet supplemented with essential amino acids on egg production performance and environmental gas emissions from layer-manure composting in laying hens in the later laying period. *Animal Science Journal*, Vol. 94, No. 1, e13853.

養豚における気候変動緩和策の導入による温室効果ガス削減効果

○荻野暁史・山下恭広(農研機構畜産研)・
大石風人・瀬戸口暁(京都大院農)・日向貴久(酪農大)

1. はじめに

社会において環境への意識が高まる中、特に温室効果ガス(GHG)に関しては2030年までに46%削減、2050年にカーボンニュートラルなどの国の目標が定められており、畜産においても対策が求められている。それに向けて気候変動緩和技術の開発が進められているところであり、最新の技術の導入によりどれだけGHGを削減可能なかは目標達成に向けて重要な情報であるが、明らかではない。そこで、本研究では、日本の養豚において緩和技術を導入した場合のGHG削減量の評価を行った。

2. 方法

対象家畜は豚とし、緩和技術として、アミノ酸バランス改善飼料(バランス飼料)、炭素繊維リアクタ(Yamashita *et al.* 2019)による尿汚水浄化処理、堆肥化での亜硝酸酸化促進、の3つを考慮した。国内養豚で行われている様々な排せつ物管理方法について、緩和技術を導入したものを緩和システム、導入しないものを慣行システムとした。国のGHG削減目標は国内のGHG排出のみを対象としているが、例えば輸入などにより国内の排出を海外に移すだけでは、国内で削減できても世界での削減にはつながらない。そこで、システム境界には飼養管理と排せつ物管理を含め、緩和システムの飼料生産と輸送に関しては慣行システムとの差分を含めた(図1)。Ogino *et al.* (2013)のモデルを修正して作成した養豚ライフサイクルアセスメント(LCA)モデルを用いてGHG排出量の算出を行った。

3. 結果と考察

ふんと尿を分離してふんは堆積発酵、尿汚水は浄化処理を行う方式の場合、バランス飼料の導入によりGHG排出量は慣行に比べ9%低く、バランス飼料に加えて炭素繊維リアクタと亜硝酸酸化促進を導入した場合は38%低かった。他の排せつ物管理方式では導入できない技術があったため削減率は低くなったが、処理割合に応じた加重平均を求めたところ、日本の養豚全体での削減率は27%であった。

謝辞

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「農業分野における気候変動緩和技術の開発」(畜産分野における気候変動緩和技術の開発)および「畜産からのGHG排出削減のための技術開発」(JPJ011299)の補助を受けて行われたものである。

引用文献

- Ogino, A., Osada, T., Takada, R., Takagi, T., Tsujimoto, S., Tonoue, T., Matsui, D., Katsumata, M., Yamashita T. and Tanaka, Y. (2013) Life cycle assessment of Japanese pig farming using low-protein diet supplemented with amino acids. *Soil Science and Plant Nutrition*, Vol. 59, pp.107–118.
- Yamashita, T., Shiraiishi, M., Yokoyama, H., Ogino, A., Yamamoto-Ikemoto, R. and Osada, T. (2019) Evaluation of the nitrous oxide emission reduction potential of an aerobic bioreactor packed with carbon fibres for swine wastewater treatment. *Energies*, Vol. 12, 1013.

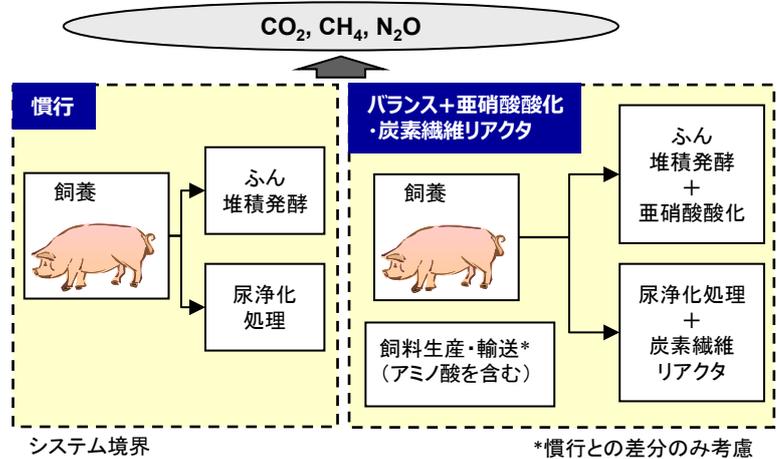


図1. 評価した養豚システムの例

刈取り草地と放牧草地の牧草生産量比較:空間分布に基づく数理モデルで

○塩見正衛(茨城大名誉教授)・陳 俊(西北農林科技大学)

1. はじめに

(1) 人工草地は、採草と放牧の2つの方法で管理・利用される。放牧草地 (CG) では、土地を均一に耕起、1~数種類の牧草を均一に播種・管理・刈取りする。放牧草地 (GG) では、均一に造成した後、数種類の牧草を均一に播種し、牧草量がある量に達したとき家畜を導入・放牧する。GG では、土・草・家畜を通じて土壌+植物体内の植物栄養 (PNR) が循環し、CG では、PNR は刈取りによって草地外に持ち出される。

(2) 本研究の目的は、土壌中の有効性窒素、有効性リン酸、カリや植物体内のそれらの誘導体 (すなわち PNR) の量が CG と GG で同一の条件のとき、「CG と GG のどちらがより多くの牧草量を生産できるか」を、数理モデルを利用して調べることである。

2. モデル

モデルは次の事項を基礎に成り立つと仮定する：(i) PNR 濃度と牧草量の関係は Mitscherlich の式に従っている；(ii) GG では土壌+植物体内の PNR 濃度の空間的な頻度分布はガンマ分布に従うが、CG では空間的に均一な分布に従う。また、CG での牧草の成長開始時と刈取り時は、GG での牧草の成長開始時と放牧終了時と同時である、CG と GG における PNR の自然流失 (流亡・蒸散など) は同量であるなど、できうる限り CG と GG の環境条件を同一にして、両者の牧草生産量を比較した。CG では、刈取り前の牧草量 (Case 1) と刈取り後の牧草量 (Case 2) の2Cases を考え、GG における放牧終了時の牧草量と比較した。GG では、放牧家畜に採食された PNR は糞尿の排世を経て草地内で循環するが、CG では刈取りによって草地内の PNR は草地から持ち出される。

3. 結果と考察

モデル計算の結果の一部を下表に示す。この表で、 y_C は CG における牧草生産量で、この例の y_C は Case 2 に対応して得られた量である。 q は刈取り強度を表し、例えば $q=0.5$ は牧草の地上部現存量の 50% を刈り取った場合を意味している。 p は GG における PNR の空間分布の指標で、 $p=1$ をランダム分布と定義すれば、 $0 < p < 1$ のとき、ランダムよりも強い空間的不均一性 (集合していること) を表していて、小さいほど、強い不均一性である。 $p > 1$ のときランダムより弱い空間的不均一性で、大きな p は均一分布に近い。牧草量の比較では、Case 1 の場合には、常に $CG > GG$ であるが、Case 2 の場合には、逆に $CG < GG$ である。このような CG の牧草量 y_C と GG の牧草量 y_G の比較以外にも、モデルからいくつかの結果が導けた。例えば、(i) 刈取りや放牧後に、PNR の補充 (追肥) を行わなかった場合 (内蒙古の自然草地や日本の野草地におけるように) の CG と GG の牧草量を比較すると、 $GG > CG$ であること。(ii) PNR の補充 (追肥) を行って、PNR 濃度を CG と GG で等しく μ に戻した場合、PNR 補充の効率は常に $GG > CG$ であること等々である。この結果は、放牧草地の方がある面で、省資源持続的であることを物語っている。

p	$\Delta y = y_G - y_C$		
	$q=0.5$	$q=0.6$	$q=0.7$
0.01	-19.038	-3.190	13.349
0.05	4.253	20.101	36.640
0.1	18.753	34.601	51.140
0.2	33.737	49.585	66.124
0.5	50.276	66.124	82.663
1	58.674	74.522	91.061
2	63.822	79.670	96.209
5	67.315	83.163	99.702
10	68.559	84.407	100.946
100	69.715	85.564	102.102
1000	69.833	85.681	102.220

牧草地における雑草のピンポイント除去方法の提案

○松村寛一郎(東京農大)・Kuzin Vitaly Dmitreievich (Nizhny Novgorod University)

1. はじめに

日本における農業従事者の減少と高齢化が同時に進展している。世界から直接、船で海外の牧草を手に入る愛知県渥美半島が酪農経営にはコスト面で有利とされてきたが、世界情勢の変化により自前で牧草栽培を行っている北海道の酪農家に注目が集まっている。本稿では、高付加価値な牧草を提供するために牧草地から雑草であるギンギシをマルチスペクトルカメラ搭載ドローン、自作移動台車、産業用ドローンを組み合わせた方法を提案する。

2. 方法

マルチスペクトルカメラと日射計を搭載したドローンによる牧草地の植生指数を 2023 年 5 月 24 日, 6 月 6 日, 6 月 15 日, 7 月 5 日, 7 月 11 日, 8 月 2 日に遂行した。6 月 6 日～15 日の間に牛が最も好むとされる 1 番草の収穫, 7 月 11 日～8 月 2 日の間に 2 番草の収穫による植生指数の減少が示された。7 月 11 日～7 月 15 日までの植生指数増加量が 0.015 よりも増加している地点を抽出した。牧草とギンギシの成長率の違いから抽出地点にはギンギシが含まれている可能性が高いと推測される。

3. 自作移動台車と産業用ドローンの組合せ

ドローン技術を応用した地上走行できる台車へのニーズは高まっている。中国の XAG 社が開発した地上走行ドローンは、300 万円前後の価格であるが、中国本土で導入されている可変施肥を可能にする最新のシステムが日本に輸入された段階でそのシステムが付加されていないという問題点が指摘される。2023 年 7 月に帯広で開催された国際農業機械展において、英国のファーガソン社が開発した同国から届いたばかりの移動台車を体験する機会があったが、追尾機能や連続運転が 10 時間可能など性能的には優れているが、価格が 500 万円からとなっている。マルチスペクトルカメラで抽出されたギンギシが含まれている可能性が高い地点を経由して地表写真を撮影する地上走行ドローンを製作する。自動飛行可能な飛行機型ドローンの製作と運用経験を有している(Matsumura ら 2022)。DJI 社の産業用農薬散布ドローン MG-1 のライセンスを 2017 年に入手済みである。MG-1 は、手動による農薬散布が中心であった。MG-1 の後継機種である T-10 および T-30 は、2023 年 7 月の国際農業機械展(帯広)において、ヤンマー、クボタ、キセキをはじめとする国内の主要農機具メーカーが推奨機種として採用しており、業界の標準となっている。本研究で薬剤散布のために使用予定の DJI 社の T-10 を運用させるにあたり、自動操縦と機種拡張の 2 日間を受講することで、MG-1 のライセンスを更新できる。牧草地に存在する雑草(ギンギシ)をピンポイント的に除去することで除草剤の使用量を 8 割削減できる可能性がある。低価格の自動操縦が可能な移動台車の持つ可能性は高い。既に広く使われつつある市販の農薬散布ドローンの利用可能範囲は広く、以上の組合せにより費用削減と環境負荷低減が実現する。

引用文献

Matsumura, K., Suab, S.A. and Avtar, R. (2022) Pack ice observations by UAV and Sentinel-2 Satellite.

Okhotsk Sea and Polar Oceans Research, Vol. 6, pp. 42–45.

松村寛一郎 (2022) 農業農村工学会ミニ動画コンテスト“こりゃ映像！2022. 2022 年度(第 71 回)農業農村工学会大会講演会, 優秀賞. https://www.youtube.com/watch?v=oC_mVox6LqQ



図 1. 左: 2023 年 7 月 11 日～7 月 15 日までの植生指数増加量が 0.015 よりも増加した地点。
中: コストコ子供用電動車両(39,800 円)と右: Pixhawk Mission Planner ローバーセットアップ画面

農地の地すべり危険地における民俗学的災害地名の分布

○岡本勝男(国土防災技術)

1. はじめに

大雨や地震のような自然災害によって、毎年多くの人命や財産が失われている。災害に見舞われやすい、または、災害の危険度が高い場所は、災害危険地区として把握されている。本稿では、農地に関連した地すべり危険地の集落(小字)名を調べ、それが民俗学的災害地名に該当するか検討した結果を報告する。

2. 方法

対象地域は長野県全域である。解析には、地すべり危険地_農政.shp を用いた(長野県 2014)。地名を調べるために、あぶない地名(小川 2012)、地理院地図(電子国土 Web)(国土地理院 2023)と農業集落境界データ(農林水産省 2021)を使用した。

解析はまず、あぶない地名に載っている著名な被災地の場所を、地理院地図を参照し、それで解決できない場合はインターネットで検索して QGIS 上にプロットした。次に、地すべり危険地_農政と農業集落境界データを UTM zone 54N WGS84 で再投影した。地すべり危険地_農政のポリゴンに含まれる集落の地名を地理院地図で調べた。同時に、農業集落境界データで集落名も調べた。集落名は地すべり危険地_農政のポリゴンの中心に近い地名から順に記録した。集落地名が民俗学的災害地名に該当するか否かを「あぶない地名」で調べ、その災害地名が地すべり危険地_農政のポリゴンにどのくらい含まれるかを分析した。

3. 結果と考察

長野県の災害地名は、山腹崩壊、斜面地すべり、土石流、河岸侵食、水害の 5 種類だった。重複を含んで全部で 49 か所あり、全県にわたって分布していた。地すべり危険地_農政のポリゴンは全部で 183 あった。例として木曾郡上松町の神田(かみだ)ポリゴンとその周辺を取り上げる(図 1)。ポリゴンは神田集落を中心として、農業集落の東奥(ひがしおく)と東里(ひがしさと)にまたがっている。神田の「カミ」はこの場合は「嘯ミ」で侵食を意味する。東はここではヒが輝(あかぎれ)または罫(ヒビ)で物の割れ目、カシ(ガシ)は傾ぐ、またはカシケで萎れるの意で、地面がひび割れて傾いて崩れる崩壊地形を指す。危険地ポリゴンに含まれる地名や交差する農業集落ポリゴンはこのように複数の場合がある。第 1 番目に記録した地名が災害地名のものは、97 ポリゴン(53.0%)あった。

本報告では、地すべり危険地_農政のみを対象にしたが、他の危険地区ポリゴンに含まれる集落も多数存在した。

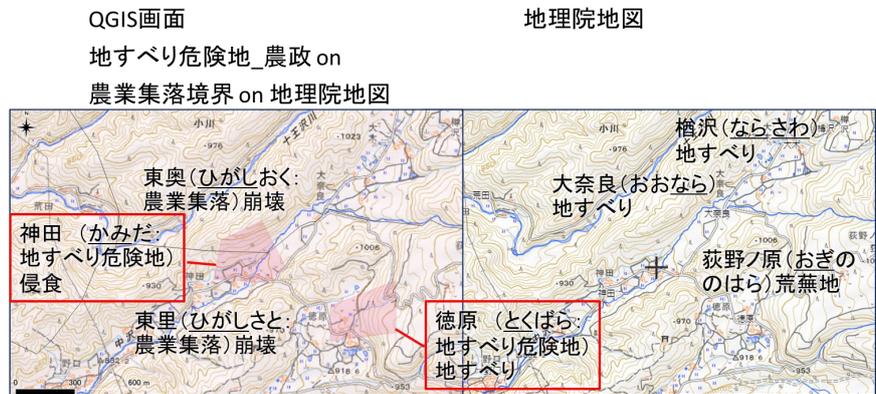


図 1. 地すべり危険地_農政ポリゴンと対応する地名の例。神田(かみだ)ポリゴン(木曾郡上松町)。背景は地理院地図

引用文献

小川豊 (2012) あぶない地名(災害地名ハンドブック), 三一書房, 東京.

国土地理院 (2023) 地理院地図(電子国土 Web), つくば. In <https://maps.gsi.go.jp/>

長野県 (2014) 長野県統合型地理情報システム 信州くらしのマップ, 長野.

In <https://www.gis.pref.nagano.lg.jp/pref-nagano/OpenData?mids=20001&pno=1>

農林水産省 (2021) 農業集落境界データ(2021年10月4日公開版), 東京.

In https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/shuraku_data/2020/ma/index.html

システム農学会 2023 年度大会 in 広島

現場目線からのスマート農業実践の可能性：
農業イノベーションの創出

大会実行委員長

長命 洋佑

広島大学大学院 統合生命科学研究科

大会実行委員会

編成・編集担当 川村健介

帯広畜産大学

優秀発表賞担当 田中 貴

岐阜大学応用生物科学部

主催 システム農学会 <http://jassnet.org/>

共催 東広島市