

システム農学会 2025 年度大会 in 帯広

シンポジウム・一般研究発表会

講演要旨集

宇宙から監視する新たな草地酪農に向けて
～人工衛星を活用した大規模草地植生
の判別とその活用～

2025 年 10 月 18 日(土)～19 日(日)

会場 とかちプラザ(〒080-0014 北海道帯広市西 4 条南 13 丁目 1)

主催 システム農学会

システム農学会 2025 年度大会 in 帯広 シンポジウム・一般研究発表会

開催日時 2025 年 10 月 18 日(土)～19 日(日)
開催場所 とかちプラザ(〒080-0014 北海道帯広市西 4 条南 13 丁目 1)

第 1 日(10 月 18 日) Day 1 (October 18)

一般研究発表会 Oral Presentation

9:00～10:30 座長: 安田 泰輔(山梨県富士山科学研究所)

[A 会場] Chair: Dr. Taisuke Yasuda

(Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government)

- A01 深層学習に基づく画像解析を用いたヤギの視線角度の定量化
○岩井宏平・澤田 玲・瀬戸口 暁・熊谷 元・塚原洋子・大石風人(京都大院農)
- A02 セミ乾式バイオガスプラント導入による GHG 排出量評価
○稲田祐樹(京都大農)・瀬戸口 暁(京都大院農)
・保井聖一(エア・ウォーター北海道(株))・木村義彰(道総研畜試)
・荻野暁史(農研機構)・大石風人(京都大院農)
- A03 垂直型ソーラーシェアリング下での牧草の栽培環境と生育の評価
○佐藤圭吾(福島大院食農)・牧 雅康(福島大食農)
- A04 空間的自己相関と拡散効果を考慮した外来植物の分布モデルの作成
○加藤成剛・渡邊 修(信州大農)
- A05 クローラを搭載した移動式カメラを用いたカボチャの葉の病害自動診断システムの検討
○岩切舞香・神田英司(鹿児島大)
- A06 温水処理によるアレチウリ発芽抑制の現地評価
○松永実優・川村健介・翫 美里・原沙織・佐藤大地(帯畜大)
・安田泰輔(山梨富士山研)・内田朋宏・滝下麻耶(十勝振興局)

10:30～10:45 休憩 Refreshment/Networking

10:45～12:30 座長: 川村 健介(帯広畜産大学)

[A 会場] Chair: Assoc. Prof. Kensuke Kawamura

(Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine)

- A07 深層学習を利用した農地周辺におけるオオブタクサおよびアレチウリの自動検出モデルの開発と分布マップの作成
○滝沢佳大・渡邊 修(信州大農)・安田泰輔(山梨富士山研)
- A08 深層学習を用いた大豆の莢形状と子実の自動抽出の検討
○井上大輔(福島大院食農)・牧 雅康(福島大食農)
- A09 時系列衛星画像とフェノロジー情報を活用した北海道農地の作付け分類
○畠田将貴・大吉 慶(宇宙航空研究開発機構)
- A10 UAV マルチスペクトル画像を用いた大麦の品質推定モデルの作成
○三尾建斗(信州大院農)・渡邊 修(信州大農)
- A11 UAV 空撮画像と機械学習を用いた水田後期ヒエ類発生推定の試み
○佐々木 航・渡邊 修・叶 戎玲(信州大農)

A12 低高度 UAV 画像と深層学習を用いた大豆圃場における難防除雑草の
自動検出法の検討

○加藤遼大(信州大院農)・渡邊 修(信州大農)

A13 Sentinel-2 衛星画像を用いた外来樹種ニワウルシの検出

○青木実伶・馬 籠純(山梨大)・安田泰輔(山梨富士山研)

12:30～13:30 昼食 Lunch

シンポジウム 宇宙から監視する新たな草地酪農に向けて
～人工衛星を活用した大規模草地植生の判別とその活用～

Symposium A new vision for grassland dairy farming from space:
Satellite-based mapping and utilization of grassland vegetation

13:30～13:40 シンポジウム開催趣旨説明

田中常喜(道総研 酪農試験場)

I 北海道の草地と飼料の管理

13:40～14:00 草地型酪農地帯における飼料作物栽培の理想と現実

藤田千賀子(釧路農業改良普及センター)

II 草地の衛星リモートセンシング技術の開発

14:00～14:20 ドローンから衛星へのスケールアップにチャレンジ

川村健介(帯広畜産大学)

14:20～14:40 北海道の採草地でチャレンジ～植生判別編～

田中常喜(道総研 酪農試験場)

14:40～15:00 北海道の採草地でチャレンジ～草量推定編～

秋山雄希(道総研 酪農試験場)

15:00～15:15 休憩 Refreshment/Networking

III 草地・飼料作物におけるリモートセンシング技術の利用

15:15～15:35 十勝における営農支援システムの紹介と活用事例

井出陽菜(十勝農協連)

15:35～15:55 新技術が変える酪農地帯の土地利用 ～ 光が照らす草地の未来

岡元 英樹(道総研 天北支場)

15:55～16:00 レイアウト変更

IV 総合討論

16:00～17:00 総合討論

17:00 閉会 Closing

第2日(10月19日) Day 2 (October 19)

一般研究発表会 Oral Presentation

9:00～10:00 座長: 田中 常喜(道総研 酪農試験場)

[A会場] Chair: Dr. Tsuneki Tanaka (Dairy Research Center, Hokkaido Research Organization)

A14 植生指数による緑肥用ソルガムの窒素吸収量の推定と施肥マップの作成

○渡邊 修(信州大農)・小池美星(信州大院農)
・矢口直輝(長野野菜花き試)・叶 戒玲(信州大農)

A15 宮城県石巻市における竹林管理および竹材・たけのこ生産の実態

○成澤朋紀・米澤千夏(東北大院農)

A16 高分解能衛星画像による大崎耕土の屋敷林(居久根)の
2017年から2025年にかけての保全状況の評価

○米澤千夏・成澤朋紀・堀越翔空・佐々木美月(東北大院農)

A17 エチオピア・ティグライ州の内戦時における農地・森林への影響

○酒井 徹(国際農研)・Emiru Birhane・Emnet Negash(メケレ大)

9:00～10:00 座長: 長命 洋佑(広島大学大学院統合生命科学研究科)

[B会場] Chair: Assoc. Prof. Yosuke Chomei

(Graduate School of Integrated Sciences for Life, Hiroshima University)

A18 ウシ顔画像による個体識別技術に対する撮影時期の影響

○三輪雅史・吉山 紬・阪谷美樹(農研機構畜産研)

A19 黒毛和種去勢肥育牛における基底心拍数出現時の心電間隔データを用いた心拍変動解析指標の検討

○兒嶋朋貴・嶋崎知哉(農研機構畜産研)・富田佑佳・兼子明美(愛知農総試)
・石田三佳(農研機構畜産研)

A20 ビタミンA制限が黒毛和種の枝肉形質間の遺伝的関連性に及ぼす影響
—家畜栄養学と家畜育種学の融合—

○廣岡博之(京都大院農)

A21 集中型バイオガспラントを利用した酪農のライフサイクル温室効果ガス排出量

○荻野暁史・山下恭広・吉原 茜(農研機構畜産研)・芦田敏文(農研機構農工研)
・佐藤正衛・藤田直聡(農研機構北農研)

10:00～10:15 休憩 Refreshment/Networking

10:15～11:15 座長: 渡邊 修(信州大学農学部)

[A会場] Chair: Assoc. Prof. Osamu Watanabe (Faculty of Agriculture, Shinshu University)

A22 森林との距離を考慮した条件不利農地面積の推計

○國井大輔・林 岳(農林水産政策研)・佐藤真行(神戸大)
・伊波克典(エコロジカル・フットプリント・ジャパン)

A23 車載カメラと距離学習を用いた外来植物のマッピング

○安田泰輔(山梨富士山研)・渡邊 修(信州大農)・川村健介(帯畜大)

A24 Zero-shot Learning を利用したキクの粗密度評価

○吉利怜奈(農研機構ロボ研)・藤迫 哲・佐伯謙司・松下令実(農研機構種苗管理セ)
・林 篤司・高地伸夫(農研機構ロボ研)

A25 CFD によるネット式防雪柵の周辺の流れ場の予測と空隙率の影響の検討

○大風 翼(東京科大)・新屋啓文(新潟大)
・大宮 哲(寒地土木研(現 北海道開発技術セ))

10:15～11:15 座長：荻野 暁史(農研機構 畜産研究部門)

[B 会場] Chair: Dr. Akifumi Ogino (Institute of Livestock and Grassland Science, NARO)

A26 大学生の日本酒に対する意識構造と消費拡大に向けた方策

○長命洋佑(広島大院統合生命)

A27 国土強靱化に資する省力水稻栽培方法の開発と実践

○松村寛一郎(金城大)・杉本賢二(大阪公大)・Srishti Arora (Ignisnova-Robotics)

A28 農林水産統計を活用した品目別・都道府県別の収量・価格・農業収入
の年次変動可視化ツールの開発

○永井孝志(農研機構農環研)

A29 農学における専門研究の弊害とシステム農学の在り方

○廣岡博之(京都大院農)

・大宮 哲(寒地土木研(現 北海道開発技術セ))

11:15～11:30 休憩 Refreshment/Networking

11:30～12:30 総会・優秀発表賞(北村賞)表彰式

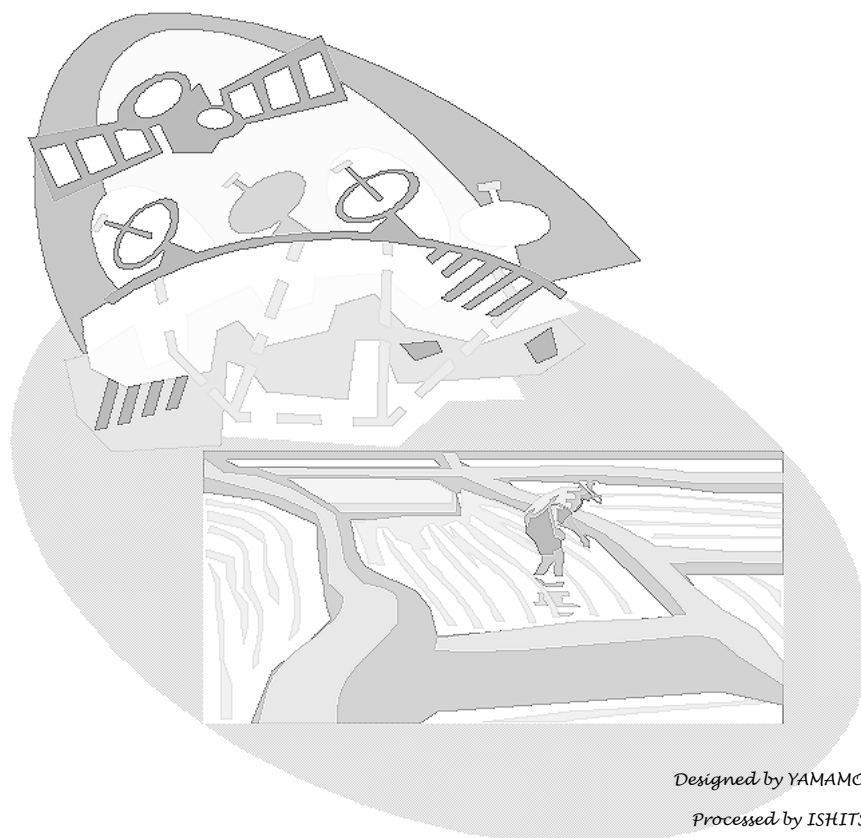
12:30 閉会 Closing

Proceedings of the JASS 2025 Annual Meeting

A new vision for grassland dairy farming from space: Satellite-based mapping and utilization of grassland vegetation

produced by JASS 2025 Annual Meeting Executive Committee;

Chairman:	Kensuke Kawamura	(Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine)
Symposium:	Tsuneki Tanaka Yuki Akiyama	(Dairy Research Center, Hokkaido Research Organization)
Planning/Editor:	Kensuke Kawamura	(Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine)
Award Selection:	Masafumi Miwa	(Institute of Livestock and Grassland Science, NARO)



Designed by YAMAMOTO, Yukiyo, (JIRCAS)

Processed by ISHITSUKA, Naoki, (NIAES)

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 2025 年度大会講演要旨集

目 次 Contents

シンポジウム 宇宙から監視する新たな草地酪農に向けて ～人工衛星を活用した大規模草地植生の判別とその活用～

Symposium A new vision for grassland dairy farming from space: Satellite-based mapping and utilization of grassland vegetation

- | | | | |
|---|-------------------------------|-------|----|
| 1 | 草地型酪農地帯における飼料作物栽培の理想と現実 | 藤田千賀子 | 1 |
| 2 | ドローンから衛星へのスケールアップにチャレンジ | 川村健介 | 4 |
| 3 | 北海道の採草地でチャレンジ～植生判別編～ | 田中常喜 | 8 |
| 4 | 北海道の採草地でチャレンジ～草量推定編～ | 秋山雄希 | 12 |
| 5 | 十勝における営農支援システムの紹介と活用事例 | 井出陽菜 | 15 |
| 6 | 新技術が変える酪農地帯の土地利用 ～ 光が照らす草地の未来 | 岡元英樹 | 17 |

一般研究発表 Oral Presentation

- | | | |
|-----|---|----|
| A01 | 深層学習に基づく画像解析を用いたヤギの視線角度の定量化
岩井宏平・澤田 玲・瀬戸口 暁・熊谷 元・塚原洋子・大石風人 | 21 |
| A02 | セミ乾式バイオガスプラント導入による GHG 排出量評価
稲田祐樹・瀬戸口 暁・保井聖一・木村義彰・荻野暁史・大石風人 | 22 |
| A03 | 垂直型ソーラーシェアリング下での牧草の栽培環境と生育の評価
佐藤圭吾・牧 雅康 | 23 |
| A04 | 空間的自己相関と拡散効果を考慮した外来植物の分布モデルの作成
加藤成剛・渡邊 修 | 24 |
| A05 | クローラを搭載した移動式カメラを用いたカボチャの葉の病害自動診断システムの検討
岩切舞香・神田英司 | 25 |
| A06 | 温水処理によるアレチウリ発芽抑制の現地評価
松永実優・川村健介・翫 美里・原沙織・佐藤大地・安田泰輔・内田朋宏・滝下麻耶 | 26 |
| A07 | 深層学習を利用した農地周辺におけるオオブタクサおよびアレチウリの
自動検出モデルの開発と分布マップの作成
滝沢佳大・渡邊 修・安田泰輔 | 27 |
| A08 | 深層学習を用いた大豆の莢形状と子実の自動抽出の検討
井上大輔・牧 雅康 | 28 |
| A09 | 時系列衛星画像とフェノロジー情報を活用した北海道農地の作付け分類
瀧田将貴・大吉 慶 | 29 |
| A10 | UAV マルチスペクトル画像を用いた大麦の品質推定モデルの作成
三尾建斗・渡邊 修 | 30 |
| A11 | UAV 空撮画像と機械学習を用いた水田後期ヒエ類発生推定の試み
佐々木 航・渡邊 修・叶 戎玲 | 31 |
| A12 | 低高度 UAV 画像と深層学習を用いた大豆圃場における難防除雑草の
自動検出法の検討
加藤遼大・渡邊 修 | 32 |

A13	Sentinel-2 衛星画像を用いた外来樹種ニワウルシの検出	青木実伶・馬 籠純・安田泰輔	33
A14	植生指数による緑肥用ソルガムの窒素吸収量の推定と施肥マップの作成	渡邊 修・小池美星・矢口直輝・叶 戎玲	34
A15	宮城県石巻市における竹林管理および竹材・たけのこ生産の実態	成澤朋紀・米澤千夏	35
A16	高分解能衛星画像による大崎耕土の屋敷林(居久根)の 2017 年から 2025 年にかけての保全状況の評価	米澤千夏・成澤朋紀・堀越翔空・佐々木美月	36
A17	エチオピア・ティグライ州の内戦時における農地・森林への影響	酒井 徹・Emiru Birhane・Emnet Negash	37
A18	ウシ顔画像による個体識別技術に対する撮影時期の影響	三輪雅史・吉山 紬・阪谷美樹	38
A19	黒毛和種去勢肥育牛における基底心拍数出現時の心電間隔データを 用いた心拍変動解析指標の検討	兒嶋朋貴・嶋崎知哉・富田佑佳・兼子明美 ・石田三佳(農研機構畜産研)	39
A20	ビタミン A 制限が黒毛和種の枝肉形質間の遺伝的関連性に及ぼす影響 — 一家畜栄養学と家畜育種学の融合 —	廣岡博之	40
A21	集中型バイオガスパラントを利用した酪農のライフサイクル温室効果ガス排出量	荻野暁史・山下恭広・吉原 茜・芦田敏文・佐藤正衛・藤田直聡	41
A22	森林との距離を考慮した条件不利農地面積の推計	國井大輔・林 岳・佐藤真行・伊波克典	42
A23	車載カメラと距離学習を用いた外来植物のマッピング	安田泰輔・渡邊 修・川村健介	43
A24	Zero-shot Learning を利用したキクの粗密度評価	吉利怜奈・藤迫 哲・佐伯謙司・松下令実・林 篤司・高地伸夫	44
A25	CFD によるネット式防雪柵の周辺の流れ場の予測と空隙率の影響の検討	大風 翼・新屋啓文・大宮 哲	45
A26	大学生の日本酒に対する意識構造と消費拡大に向けた方策	長命洋佑	46
A27	国土強靱化に資する省力水稻栽培方法の開発と実践	松村寛一郎・杉本賢二・Srishti Arora	47
A28	農林水産統計を活用した品目別・都道府県別の収量・価格・農業収入 の年次変動可視化ツールの開発	永井孝志	48
A29	農学における専門研究の弊害とシステム農学の在り方	廣岡博之	49

発行 2025年10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/>)

草地型酪農地帯における飼料作物栽培の理想と現実

○藤田 千賀子(釧路農業改良普及センター)

1. はじめに

私の勤務する釧路北部地区は、草地型酪農地帯である(図1)。

酪農家における粗飼料は、反芻動物である乳牛の飼料の基礎となる最も重要な飼料であることは言うまでもない。しかし、原料である飼料作物がほ場から牛の口が届くまでには、収穫・調製、貯蔵、給与の過程を経る。さらに、摂取された飼料が乳牛の身体の中で微生物により分解、その後乳牛の消化管を通じて吸収、代謝され、生乳となって分泌される。粗飼料は、大きく迂回した後、生乳という「売り物」となる。

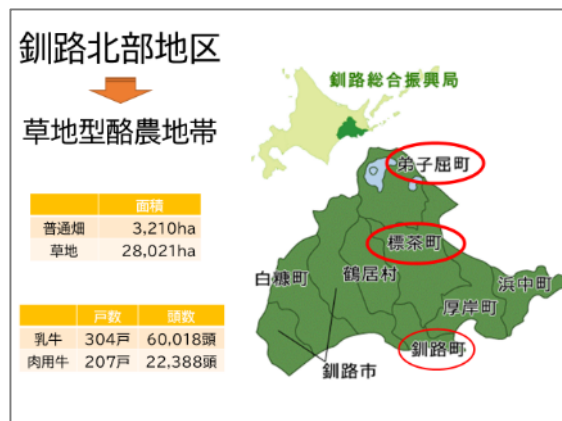


図1. 釧路北部地域。

2. 釧路北部地区における粗飼料生産

JA しべちゃでは、この重要な粗飼料品質向上のため、職員による『粗飼料プロジェクト』が立ち上げられた。プロジェクトでは、組合員による草地の植生改善実施率 8%(プロジェクト当初の達成率 2~3%)を目指して活動している。

活動内容は、農家における完全更新・簡易更新・追播・土壌物理性改善・土壌改良等を推進するための啓発資料発行や現状把握のための収量調査、植生割合の調査、およびこれらと土壌分析の結果による改善提案である。農家は、安定した生乳生産のために粗飼料が重要なことを理解しており、改善に取り組んではいるものの、大きく進まない理由としては、図2のような声が上がっている。

草地更新、改善が進まない理由

- ・牧草が販売物ではない
- ・草地更新をすると、粗飼料が足りなくなる
- ・草地更新の費用が高額
- ・更新、改善の効果が不明
- ・植生の維持ができない
- ・地形により、作業が難しい
- ・エゾシカの食害が不安
- ・草地が余る地域もある



図2. 草地更新、改善が進まない理由(農家の声)。

3. 調査・管理における現状

粗飼料プロジェクトや、普及センターにおける農作物生育状況調査では、牧草では萌芽の時期、牧草(チモシー)の草丈、収量、草種割合を、飼料用とうもろこしでは、草丈、稈長、葉数、収量(栽植本数・欠株)、熟度を調査している(図3、4)。定点調査や収量調査は、ほ場の中で平均的な生育の箇所を選び、萌芽や草種割合は、ほ場全体を観察して判断する。



図3. 牧草地における調査項目。



図4. 飼料用とうもろこしにおける調査項目。

調査やほ場管理を行う上で問題となっていることとして、①暑熱の影響、②雑草の侵入、③鳥獣による被害が挙げられる。

①暑熱の影響

まず挙げられるのは、暑熱によるチモシーへの影響である。令和7年の2番草の生育時期(7月)には雨が少なく、気温も高く推移したことから、2番草の生育が緩慢となり、一部では黄変が見られた(図5)。その結果、当地域の2番草の収量は平年対比1~2割程度の減少となった。

②雑草の侵入

チモシーの衰退により現れた裸地では、広葉雑草が増加し、防除が必要となっている(図6)。これは、更新後年数が浅く、比較的チモシー割合の多いほ場で散見された。

飼料用とうもろこしのほ場では、つる性の雑草の侵入が増加しており、収穫の妨げとなるケースが見受けられる(図7)。



図5. チモシー2番草の様子。

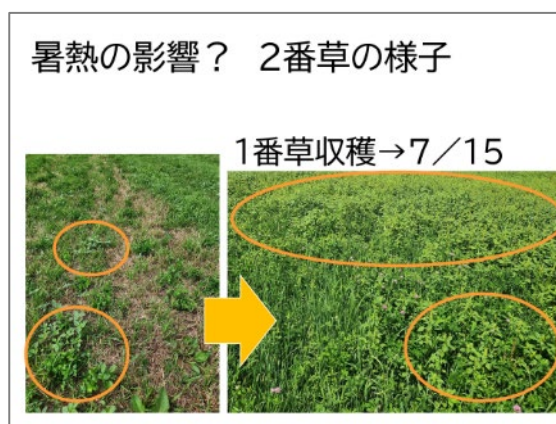


図6. 牧草地における雑草の侵入。



図7. つる性雑草の侵入の様子。

また、町内の預託牧場においては、キンポウゲ科等の中毒症状を引き起こす雑草の問題が発生しており、長年対応に苦慮している。毎年、中毒症状を呈する育成牛が放牧されていた牧区を中心に雑草を探し、発見次第刈り取りを行うが、およそ1,300haもの広大な放牧地からすべてを探し出すのは至難の業である。当該牧区は、中毒症状確認後に一定期間放牧を行わない対応を行うため、不食過繁草の問題にもつながっている。さらに、冬季舎飼い期にも中毒症状が見られることから、採草地にも侵入していると考えられるが、採草地における雑草の発見には至っていない。



図8. 育成牧場における雑草の問題。

③鳥獣による被害

主に、カラス、エゾシカ、熊の被害が問題となっている。

カラスによる飼料用とうもろこしの種子や株の抜き取り被害があり、株の抜き取りへの効果的な対策は見つかっていない(写真 1)。防風林に囲まれたほ場では、カラスの巣が近くに存在し周囲から見えないことから、ほ場にあるとうもろこしの株の9割程度を抜かれ、作付けを諦めた被害もあった。

エゾシカは、広い草地の中からチモシーなどの牧草を上手に選んで採食する(写真 2)。新播草地など牧草割合が多く、周囲から見えない草地での被害が大きくなる傾向にある。また、飼料用とうもろこしほ場でも食害が見られ(写真 3)、フェンスや電気牧柵による対策が取られている。フェンス、電気牧柵等資材への助成はあるが、施工費は農業者負担である。



写真 1. カラスによる抜き取り被害。



写真 2. エゾシカによるチモシーの食害。



写真 3. エゾシカによる飼料用とうもろこしの食害。

熊による食害は、主に飼料用とうもろこしの子実において見られている。電気牧柵を設置しても、柵の下をくぐってほ場に侵入する個体もいる。また、一部の牧草地においては、コガネムシ等の幼虫の捕食のためにほ場の表面をめくる被害が見られる。熊と遭遇することで、農業者や調査中の職員に被害が及ぶ危険性があり、より安全な調査方法の確立が望まれる。



写真 4. 熊により草地がめくられた跡。



写真 5. 電気牧柵の下を熊がくぐった跡。

4. 今後

本シンポジウムでは、人工衛星を活用した様々な技術が紹介される。今後は、宇宙から飼料作物ほ場の情報を迅速にかつ正確に得ることで、問題解決につながるとともに、人や家畜の安全性を確保するための対策とセットの技術開発を期待したい。

ドローンから衛星へのスケールアップにチャレンジ

○川村健介(帯畜大)

1. はじめに

『天気予報を見るように宇宙から草地の環境を見ることはできないだろうか?』—岐阜大学大学院時代に恩師が投げかけてくれた問いである。約 20 年が経過した今、その問いかけが現実見を帯びてきている。当時は夢物語に思えたが、リモートセンシング技術の進展と AI 解析の普及により、宇宙から牧草地の状態を診断する具体的な試みが進んでいる。この背景には、人工衛星およびドローンや人工知能(AI)等の技術の発展だけでなく、スマート農業に向けた社会情勢も追い風となって、周辺技術が急速に発展したことに他ならない。

本報では、まず(1)人工衛星を活用した草地管理における取組みと課題を整理し、(2)ドローンと機械学習を活用した様々な取り組みについて紹介した後、(3)ドローンから人工衛星へスケールアップする取り組みへの展望を述べる。

2. 人工衛星データにおける 3 つの解像度との闘い

リモートセンシングを用いた草地・農地診断には、空間解像度・時間解像度・分光解像度という 3 つの制約が常に存在する。とりわけ人工衛星データでは、1 ピクセルが示す地表面積を意味する空間解像度と、同一地点を再観測する周期である時間解像度の影響が大きく、解析精度を大きく左右する要因となる。

北海道十勝地方のように大区画圃場が広がる地域では、1990 年代から人工衛星の農業利用に向けた先駆的な研究が行われてきた。畠中・佐藤(1993)は Landsat TM データを用いて有効水分区分図を作成し、岡野ら(1992)はマルチ時期データを活用して作物分類と作付体系の関係性を明らかにした。これらの成果は、衛星リモートセンシング技術が広域農業モニタリングに有効であることを早期に示した事例といえる。その後、2010 年代に入り、Sentinel-2 や Landsat 8 の打ち上げにより、空間解像度(10–30 m)、観測頻度(5–16 日)、および分光バンド数(10–13 バンド)が大幅に向上した(Forkuor et al., 2018)。これにより、農地スケールでの作物分類や植生指数(NDVI 等)の解析が精度良く実施できるようになり、草地や飼料作物モニタリングへの応用が現実的なものとなってきた。また、上記の光学センサーの代替えまたは補完手段として、合成開口レーダー(SAR)を活用した飼料作物の生育診断も行われている(石塚・牧野, 2013; 牧野ら, 2016)。しかし、牧草地特有の群落構造の多様性や小規模な雑草群落の存在を詳細に把握するには、依然として限界が残されている。

空間解像度の観点から見ると、Sentinel-2(10 m)や PlanetScope(3–5 m)といった中分解能衛星では、牧草地単位の微細な構造変化や局所的な雑草群落を識別するには不十分である。一方、WorldView や SPOT に代表される高分解能衛星は詳細な地表情報を提供できるものの、データ取得コストや観測頻度の制約が大きい。さらに、人工衛星画像の多くは 1 ピクセル内に複数の地物(牧草、裸地、雑草群落など)が混在する「混合ピクセル(mixed pixel)」として観測される。このため、特に草地のように空間的不均一性が高い環境では、個々の植生要素を分離して識別することが困難となる。この課題に対し、線形混合解析(Linear Mixture Analysis; LMA)が有効な手法として提案されてきた。LMA では、1 ピクセルの観測スペクトルを複数の純粋スペクトル成分(endmembers)の線形結合として表現し、各構成要素の寄与率を推定することで、混合ピクセルの分解を試みる(Roberts et al., 1998)。この手法は、衛星画像の空間分解能の限界を補う解析アプローチとして植生モニタリングや土地被覆分類の分野で広く応用が進められているが、複数草種からなる草地において、純粋スペクトル成分の情報を収集することは現実的ではない。

時間解像度に関しては、牧草地の生育変化が数日単位で進行するのに対し、衛星観測は雲や通過周期の影響を受けるため、必ずしも必要なタイミングでの情報取得が保証されない。また分光解像度の面では、従来のマルチスペクトルセンサーでは草種識別や飼料品質推定に十分な情報を得ることが難しく、植生機能の詳細な把握には限界がある(Mutanga and Skidmore, 2004)。

これらの課題を克服するためには、ドローンによる高空間解像度データと地上分光観測による精密情報を統合し、人工衛星データの補完・校正に活用するマルチスケール型アプローチが有効である。このような統合解析により、衛星リモートセンシングの解像度制約を補い、牧草地における構造的・機能的特性のより

精緻なモニタリングが可能になると期待される。

3. ドローンと AI の時代へ

近年、ドローンに搭載可能な RGB カメラおよびマルチスペクトルカメラの性能向上により、数センチメートル単位の高空間解像度画像を容易に取得できるようになった。これにより、草地生態系における植生構成や群落構造の可視化が飛躍的に進展している。

我々の研究グループでは、ドローン画像を活用して牧草と雑草の空間分布を定量的に識別する手法の開発を進めてきた。たとえば、オーチャードグラス主体草地を対象に、SLIC (Simple Linear Iterative Clustering) によるオブジェクトベース画像解析とランダムフォレスト分類 (Random Forest classification) を組み合わせる手法を構築し、牧草と雑草の分布 (Yuba *et al.*, 2020 およびマメ科率の分布 (Kawamura *et al.*, 2024b) を高精度に抽出できることを明らかにした。さらに、YOLO (You Only Look Once) などのディープラーニングに基づく物体検出アルゴリズムを応用し、エゾノギンギン (*Rumex obtusifolius*) など特定の侵入雑草の局所的分布を自動検出できることを示した (垣内ら, 2024) (図 1 右)。また、放牧地の物質循環や草地利用率の評価において重要な指標である牛糞の空間分布も、ドローン画像から自動検出する試みも進めている (Kawamura *et al.*, 2024a) (図 1 左)。これらの成果は、草地モニタリングにおける AI 技術の有効性を示すとともに、人工衛星データ解析における教師データとして活用可能である点に大きな意義を有する。

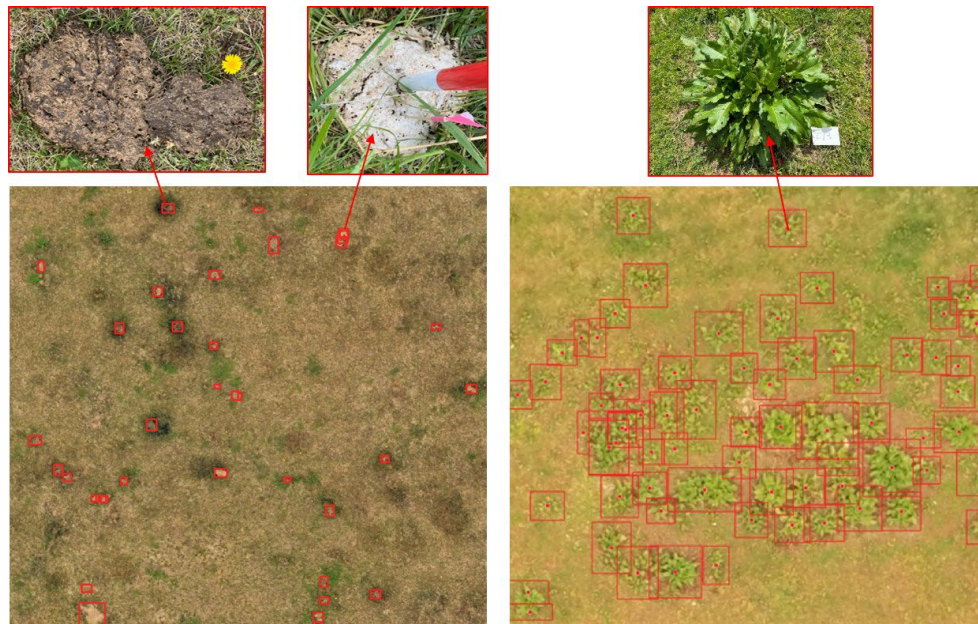


図 1. ドローン画像による牛糞(左)とエゾノギンギン(右)の自動検出例。

また、ドローン観測は植生分類にとどまらず、群落高 (surface sward height) や地上部バイオマスの推定にも応用可能である。ドローン画像から得られた群落高と地上で測定した乾物重との関係を解析した結果、非破壊的かつ高精度に牧草収量を推定できる可能性が示された (大越ら, 2024)。この手法により、従来の刈り取り調査に比べて作業負担を大幅に軽減しつつ、広域草地における収量推定の効率化が期待される。

地上およびドローンレベルで取得される高精度データは、人工衛星観測の補完および校正において不可欠な役割を果たす。これらのデータを統合的に利用することにより、ドローンから衛星スケールへと展開するマルチスケール統合解析が可能となり、牧草地の構造的・機能的変動の理解に新たな展開をもたらすと考えられる。

4. ドローンから人工衛星へスケールアップ

近年、無人航空機 (UAV, ドローン) によって取得される高解像度画像を人工衛星データと統合し、広域スケールへ外挿する研究が国内外で進展している。我々のグループにおいても、Sentinel-2 データにドロー

ン由来の植生指標および分類結果を教師データとして深層学習モデルに組み込み、ピクセルレベルでの牧草種組成および草量推定技術の開発を進めている(特願 2025-003531)。

このスケールアップを実現する上で重要となるのは、人工衛星画像の1ピクセルを「現実の地表構成要素の線形結合」として解釈し、そのスペクトル特性を精緻に再現することである。ドローン画像から得られる高解像度の植生分布情報を基に、衛星ピクセル内に含まれる牧草・マメ科・雑草・裸地などの構成比を定量的に推定し、それを衛星反射スペクトルに対応付けることにより、広域スケールで適用可能な植生判別 AI の教師データを構築することができる(図 2)。すなわち、ドローン観測は衛星リモートセンシングにおける「空間解像度の壁」を克服し、ピクセル分解能の理論的限界を補完する役割を果たす。

将来的には、人工衛星による高頻度・広域観測を基盤とし、ドローンおよび地上分光観測による高精度データを統合したマルチスケール解析フレームワークの構築が求められる。このアプローチは、牧草生産量の時空間変動の把握や放牧管理の最適化のみならず、温室効果ガス排出抑制や生態系サービス評価など、持続的草地利用に関わる多面的指標の定量化にも寄与する可能性を有する。

このように、ドローンから人工衛星へのスケールアップは、単なる観測技術の連携にとどまらず、研究対象を「点的・局所的な観測」から「広域・時系列的な地表変動解析」へと拡張する新たな試みである。この概念を北海道内の採草地に適用し、人工衛星とドローンの利点を統合した「植生判別 AI」および「草量推定 AI」の開発と実証については、本セッションの田中氏(植生判別)と秋山氏(草量推定)による報告を参照いただきたい。

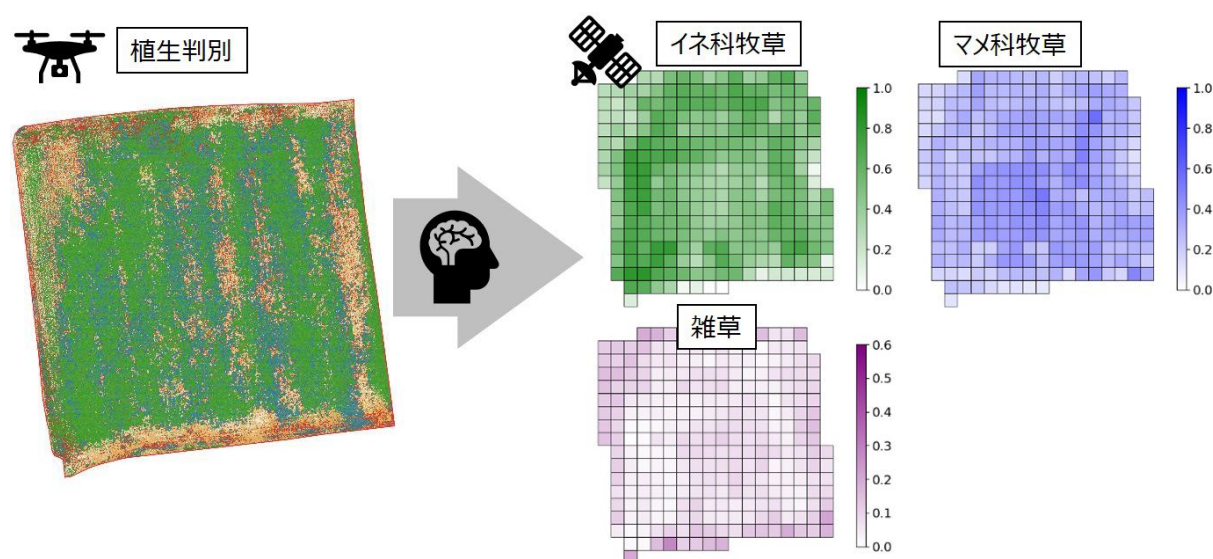


図 2. ドローンの植生判別結果を教師データとした深層学習による人工衛星へのスケールアップ概念図。

引用文献

- 畠中哲哉, 佐藤政良 (1993) 衛星データによる十勝地方の有効水分区分図作成. 北海道農業試験場研究報告, 79, 43–53.
- 石塚直樹, 牧野 司 (2013) ALOS/PALSAR データを用いた飼料用トウモロコシ作付け圃場把握の試み. システム農学, 29(2), 75-80.
- 垣内香澄, 川村健介, 神谷 詩, 大越証路, 翫 美里, 大野実穂 (2024) 無人航空機を活用したウマ放牧地におけるギシギシの分布把握. 日本草地学会誌(別), 70, p. 3.
- Kawamura, K., Kato, Y., Yasuda, T., Aozasa, E., Yayota, M., Kitagawa, M. and Kunishige, K. (2024a) Cattle dung detection in pastures from drone images using YOLOv5. *Grassland Science*, 70, 168-174. <https://doi.org/10.1111/grs.12429>
- Kawamura, K., Tanaka, T., Yasuda, T., Okoshi, S., Hanada, M., Doi, K., Saigusa, T., Yagi, T., Sudo, K., Okumura, K. and Lim, J. (2024b) Legume content estimation from UAV image in grass-legume meadows:

- comparison methods based on the UAV coverage vs. field biomass. *Scientific Reports*, 14, 31705. <https://www.nature.com/articles/s41598-024-82055-w>
- 牧野司・石塚直樹・佐藤政良 (2016). ALOS/PALSAR データを用いた飼料用トウモロコシ作付圃場の解析. 日本リモートセンシング学会誌, 36(2), 75-83.
- Mutanga, O., Skidmore, A.K. (2004) Narrow band vegetation indices overcome the saturation problem in biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 3999-4014. <https://doi.org/10.1080/01431160310001654923>.
- 岡野隆宏, 中園幹生, 伊藤浩司 (1992) マルチ時期衛星データを用いた作物分類と作付体系の解析. 農業情報研究, 1(2), 25-35.
- 大越証路, 川村健介, 田中常喜, 安田泰輔, 三枝俊哉, 土井和也, 須藤賢司, 八木隆徳, 林 志炫 (2024) ドローン草量推定の精度向上に向けて: 被度と草高の役割. 北海道畜産草地学会第 13 回大会, 北海道大学農学部, 札幌, 2024 年 12 月 7-8 日. *In: 北海道畜産草地学会誌第 13 回大会講演要旨*, 12(2), p. 23.
- Roberts, D.A., Gardner, M., Church, R., Ustin, S., Scheer, G., Green, R.O. (1998) Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*, 65, 267-79. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00037-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00037-6).
- Yuba, N., Kawamura, K., Yasuda, T., Lim, J., Yoshitoshi, R., Watanabe, N., Kurokawa, Y. and Maeda, T. (2020) Discriminating *Pennisetum alopecuoides* plants in a grazed pasture from unmanned aerial vehicles using object-based image analysis and random forest classifier. *Grassland Science*, 67(1), 73-82. doi:10.1111/grs.12288

北海道の採草地でチャレンジ～植生判別編～

○田中常喜(道総研酪農試)

1. はじめに

草地の植生を把握すること、すなわち『その草地に、どんな草種が、どれくらいの空間を占めて生息しているか?』を理解することは、草地を適切に維持し、最大限に活用していく上で、最も重要な要素の一つである。人工衛星データを活用した広域モニタリング技術は、人手と時間がかかる植生把握を効率化し、戦略的な管理を可能にするポテンシャルを秘めている。しかし、空間解像度の低い衛星リモートセンシング技術では、時間的・空間的に不均一である草地の群落を捉えることが難しく、草種判別・被度把握に大きな課題を抱えていた。他方、普及がすすむドローンを用いることで、必要な時期に cm 級の精緻な植生分類が期待できるものの、広域のモニタリングにはドローン性能の飛躍的な進歩が待たれる状況にある。そこで、私達が提案する人工衛星とドローンのそれぞれがもつ利点を組み合わせるアルゴリズム(特願 2025-003531)を、北海道の採草地の植生に適用する試みを行った。本発表では、2023 年から 2025 年にかけて北海道内の各地でデータを取得し、植生判別 AI を作成した道総研重点研究「衛星画像による大規模草地の植生判別法の開発」の取り組みを紹介する。

2. 方法

北海道内各地の植生調査には、DJI Mavic 3 Multispectral, DJI Phantom 4 RTK, Parrot ANAFI のいずれかを用いた。撮影条件は、標準搭載 RGB カメラを使用し、高度 35m 以下(GSD=1.0cm 程度)、フロントラップ 80%, サイドラップ 60%以上、撮影角 70°とし、プログラムによる自動飛行で画像を取得した。取得した RGB 画像から、Metashape Pro あるいは Pix4Dmapper を用いてオルソ画像を作成した。オルソ画像と GPS ロガーにより取得した群落位置情報から、各草種について 20~300 点程度のアノテーションを施し、SLIC-RF(Kawamura *et al.*, 2024)を適用した。これにより、人工衛星データから植生判別を学習するための教師データとして、11 地域 30 筆の植生分布マップを作成した。

植生判別 AI の作成には、ドローン調査日と撮影日が近い、Sentinel-2 の人工衛星データ(レベル 2A: 大気補正, 大気下端反射率)を利用した。まず、ドローンによる植生分布マップの解像度を再標本化し、人工衛星データの各ピクセルに対応する5項目(植被率, イネ科牧草率, マメ科牧草率, イネ科雑草率, その他雑草率)の被度を算出した(図 1)。次に、Sentinel-2 データの Band11 を除く 12 バンドの反射率と、この5項目の被度を結合し、教師データとした。取得した教師データのうち、23 筆分(10,004 データ)を、学習用(8,003 データ)と評価用(2,001 データ)に分割し、PyTorch を用いて 1D-CNN により植生判別 AI を作成した。学習済み AI の精度評価は、評価用(2,001 データ)を用いて、決定係数(R^2)と二乗平均平方誤差(RMSE)を算出した。加えて、学習用データを基に、外れ値を検出する LOF(Local Outlier Factor)モデルを作成した。このモデルを用いて、評価用データと未知データとした残りの 7 筆(3,367 データ)における LOF 値(プログラムの仕様上、負の値に変換)と予測誤差の関係を分析した。さらに、道内 4 地域 1,181 筆の 2016~2025 年に撮影された Sentinel-2 データ(教師なしデータ)の LOF 値を算出して、外れ値検定を行い、その特徴について検討した。なお、1,181 筆には輪作等による飼料用トウモロコシの作付け圃場も含む。

植生判別 AI の学習に用いなかった教師データを再加工し、リードカナリーグラスの密度マップを作成した(図 1)。この教師データを学習用(1,699 データ)と評価用(425 データ)に分割し、学習済み AI のファインチューニングによって、リードカナリーグラスの被度を推定した。精度評価は、評価用(425 データ)を用いて、 R^2 と RMSE を算出した。

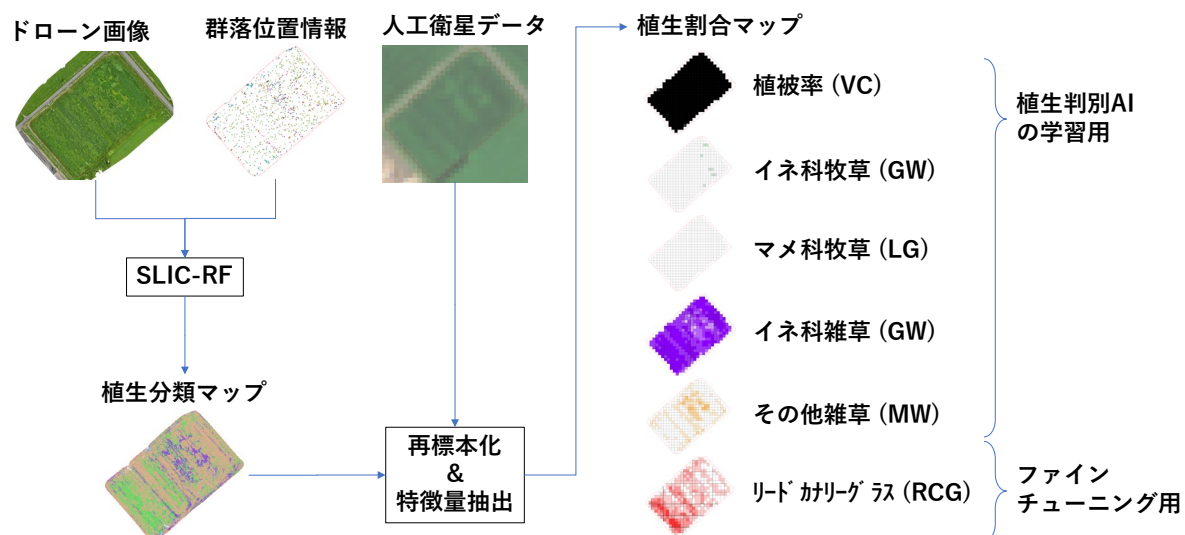


図 1. 植生判別 AI の学習と学習済み AI のファインチューニングのためのデータ処理.

3. 結果と考察

SLIC-RF により、1.0cm 解像度の植生分布マップを作成できた。その判別精度(正解率)は 0.687~0.956 であり、分類ラベル数が多いほど精度が低い傾向にあった(図 2)。そこで、分類項目をイネ科牧草、マメ科牧草、イネ科雑草、その他雑草、裸地の 5 項目に再分類した結果、全体の分類精度は 0.877 と高まった(表 1)。本発表で試みる手法での限界点の一つとして、分類の解像度が挙げられる。この結果から、5 区分程度の分類が適当であることが明らかとなった。

評価用データで検証した学習済み AI の精度は、 R^2 で 0.69~0.82、RMSE で 0.04~0.14 であった(図 3)。達観による被度調査の測定誤差が一般的に 0.10~0.15 ポイントであることを考慮すると、本 AI は現状の人力による植生調査と同等以上の精度が期待できることが示唆された。

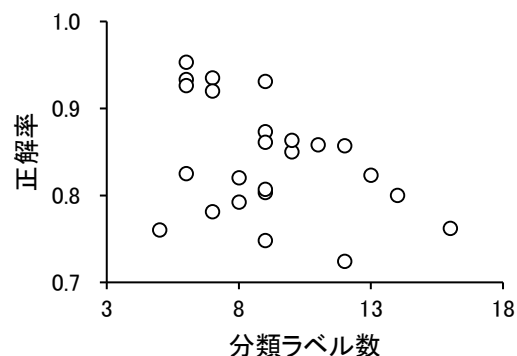


図 2. SLIC-RF による植生分布マップの精度と分類ラベル数の関係.

表 1 ラベルを 5 項目に再分類した場合の SLIC-RF の混同行列

	GR	LG	GW	MW	BG	Total
イネ科牧草 (GR)	1928	106	111	45	5	
マメ科牧草 (LG)	121	1141	45	57	3	
イネ科雑草 (GW)	145	30	988	80	22	
その他雑草 (MW)	98	49	74	2827	47	
裸地と枯草 (BG)	14	4	14	56	1181	
分類精度						
正解率						0.877
適合率	0.836	0.855	0.805	0.922	0.939	0.871
再現率	0.878	0.835	0.781	0.913	0.931	0.868
F1 値	0.857	0.845	0.793	0.918	0.935	0.869

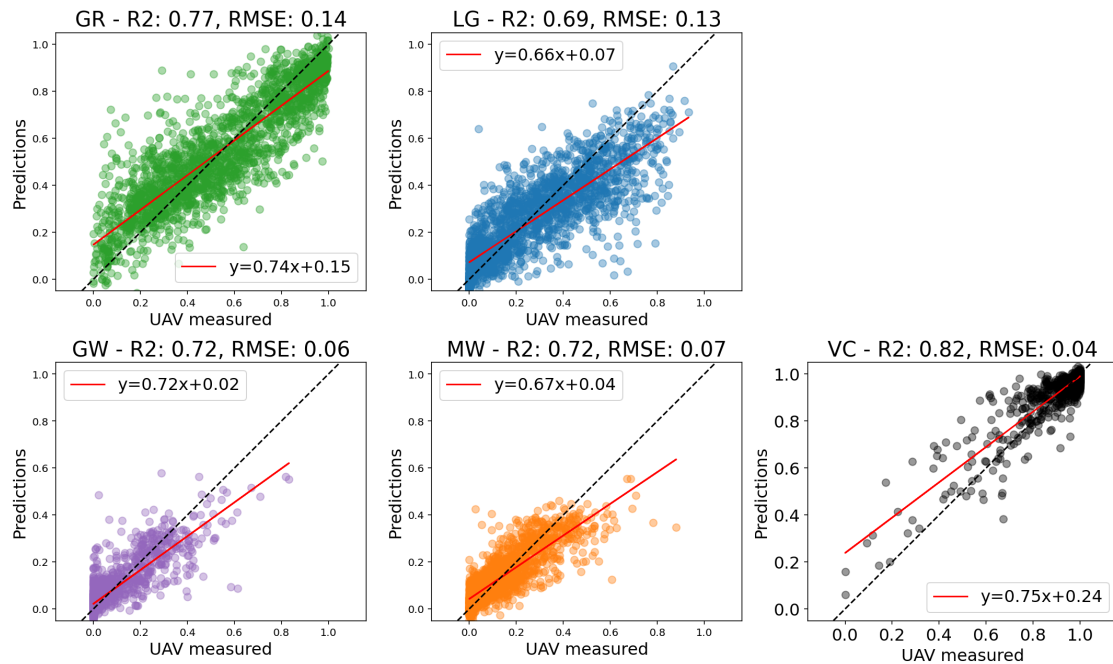


図3 植生判別をする学習済み AI の推定精度

GR:イネ科牧草, LG:マメ科牧草, GW:イネ科雑草, MW:その他雑草, VC:植被率(1.0-裸地)を示す。

LOF 値はガンマ分布を示し、評価用データで平均値-1.12, 中央値-1.06 であったのに対して、未知のデータでは平均値-2.18, 中央値-1.82 と評価用データよりも値が大きく、モデルの適用範囲が限定的であることが示唆された(図3左)。LOF 値と予測誤差の関係は、明確な傾向は確認できなかった。LOF 値が-1 に非常に近いデータでは予測誤差が小さい傾向が確認されたが、LOF 値が大きくなるにつれて誤差が大きくなるという一貫した傾向は見られなかった(図3右)。道内 1,181 筆の教師なしデータでは、LOF 値がさらに大きく、第2のピークも確認され、学習データに含まれない異質なデータが多数存在することが示唆された。また、撮影日が遅いと LOF 値が大きくなる傾向が見られた。特に飼料用トウモロコシの作付け圃場では、突出して高い LOF 値を示した。以上より、LOF 値は、推定精度を担保する指標かどうかは、学習済み AI の成熟を待つ必要があるが、LOF 値がデータの異質性を捉えることができることは示された。今後は、AI の成熟に向けて、LOF 値を用いた調査地の選定やデータのスクリーニング、および学習済み AI を運用後の情報の品質管理に LOF 値の活用することを検討したい。

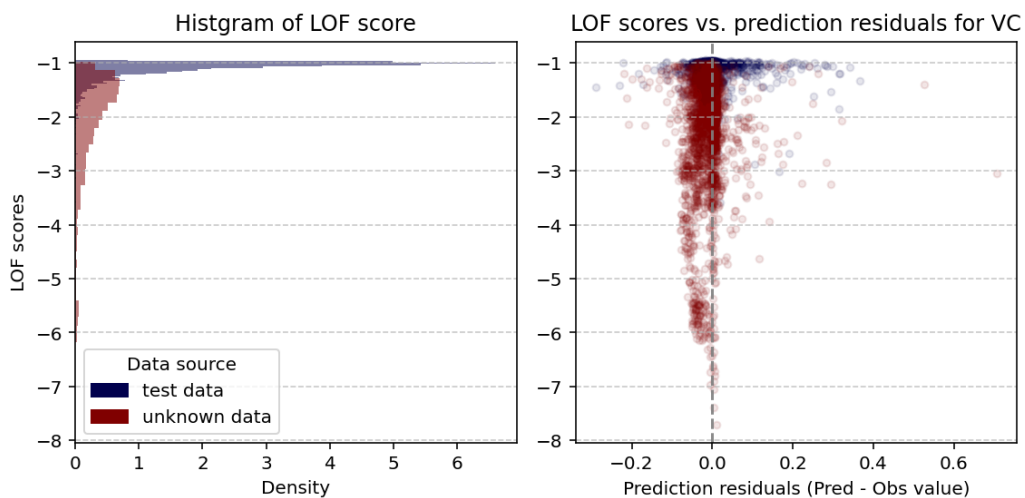


図4. 検証用(test data)および未知データ(unknown data)の LOF 値*の分布(左)と被植率(VC)の予測残差との関係(右)。

※ LOF 値はプログラムの仕様上、マイナスの値に変換されている。

本報告の学習済み AI のファインチューニングによるリードカナリーグラスの被度を推定する AI は、 R^2 で 0.60, RMSE で 0.10 の精度を示した(図 5)。この精度は、既存の学習済み AI のイネ科雑草の推定精度(図 2)に及ばないものの、それに近い性能であった。本研究ではリードカナリーグラスをイネ科雑草として分類したが、対象としたイネ科雑草の中では唯一、多収である特徴を持ち、栽培種もあり「牧草」として認識されている場合がある。このことから、5 項目の被度に加え、リードカナリーグラスの被度は、管理方法の検討に資する価値ある情報といえる。一方で、リードカナリーグラスのように特定草種を識別できるデータは限定的であり、本発表においても 3,367 データ中、2,124 データのみしか利用できなかった。これらの結果から、本手法は、植生判別 AI で不足する分類解像度を補完しつつ、データを効率的に利用できる柔軟性と、ファインチューニングの有効性を示すことができた。

今後は、植生判別 AI の成熟を図りつつ、植生判別 AI を飼料生産の量と質を向上させる技術と結び付け、草地診断システムとしての実用化に向けた研究開発を展開したい。

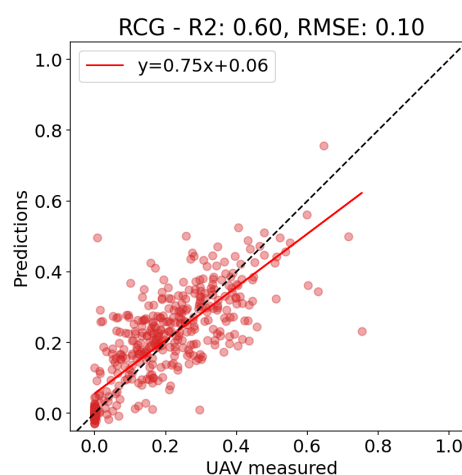


図 4. 学習済み AI のファインチューニングによるリードカナリーグラス(RCG)被度の推定精度。

引用文献

Kawamura, K., Tanaka, T., Yasuda, T., Okoshi, S., Hanada, M., Doi, K., Saigusa, T., Yagi, T., Sudo, K., Okumura, K., and Lim, J. (2024) Legume content estimation from UAV image in grass-legume meadows: comparison methods based on the UAV coverage vs. field biomass. *Scientific Reports*, 14(1), 31705. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82055-w>

北海道の採草地でチャレンジ～草量推定編～

○秋山 雄希(道総研酪農試験場)

1. はじめに

近年、配合飼料価格の高騰を背景に、自給飼料の重要性が増している。これに伴い、その生産基盤である草地の生産性向上は、酪農経営における喫緊の課題となっている。また北海道では、農家戸数の減少により一戸当たりの草地管理面積が増加する傾向にある。さらに TMR センター等の大規模な飼料生産組織では、草地管理面積の増加だけでなく労働力不足の課題に直面しており、良質な自給飼料生産のためには飼料生産システムの効率化が急務となっている。特に、管理する草地からの収穫量を事前に正確に把握することは、収穫・調製作業の最適化に重要であるため、高精度な草量推定技術の開発が求められている。

ドローンや人工衛星によるリモートセンシング技術を用いた草量推定に関する研究は数多く報告されているが、実用化に向けてはそれぞれ課題がある。ドローンは、任意の時期に高解像度のデータが得られることから高い精度で推定できる一方で、現状のドローンの性能では、広域な調査には多大な労力が必要である。対照的に、人工衛星は、広域を定期的にモニタリングできるが、空間的・時間的な分解能に制約があり、生育が不均一な草地の状況を正確に捉えることが難しい。

現在、我々のグループでは、人工衛星とドローンのそれぞれがもつ利点を組み合わせたアルゴリズム(特願 2025-003531)を北海道の採草地を対象として草量推定に適用する試みを進めている。本報告では、ドローンによる草量推定モデルの構築とその精度検証の成果について報告する。

2. 方法

本研究では、2023～2025 年にかけて、北海道内の採草地を対象とし、10 カ所・計 32 圃場でドローンによる空撮を実施し、このうち 10 カ所・計 20 圃場で草量の地上調査を実施したデータを用いた。

ドローンによる空撮は、DJI Mavic 3 Multispectral を用いた。撮影条件は、標準搭載 RGB カメラを使用し、高度 35m 以下 (GSD=1.0cm 程度)、フロントラップ 80%、サイドラップ 60%以上、撮影角 70° とし、プログラムによる自動飛行で画像を取得した。取得した RGB 画像から Pix4Dmapper を用いてオルソモザイク画像を作成した。

草量の地上調査では、ドローンによる空撮後、刈取地点の位置情報を GPS ロガーにより取得し、その地点を中心として 50cm×50cm のコドラートを設置し、コドラート内の牧草を地際から収穫した。回収したサンプルは草種選別後に乾燥し、地上部乾物収量(g/m²)を計測した。

解析の前処理として、オルソモザイク画像の RGB 色情報から、4 種類の植生指数(ExG, ExR, GRVI, CIVE)(表 1)の算出および RGB 画像からの HSV 色空間画像へ変換を行い、GPS ロガーで取得した各刈取り地点の位置情報を中心とする半径 25cm 円内の各バンドの平均値を抽出した。これにより得られた RGB3 バンド、HSV3 バンド、および 4 つの植生指数の合計 10 項目の特徴量を草量推定の説明変数、地上調査で取得した草量を応答変数として、教師データを作成した。この教師データを、学習用(80%)と検証用(20%)に分割し、ランダムフォレスト回帰(RFR)を用いて草量推定モデルを構築した。モデルの精度は、決定係数(R²)と二乗平均平方根誤差(RMSE)を用いて評価した。構築した RFR モデルはドローン撮影により得られた画像に適用して圃場全体の草量推定マップを作成した。

表 1 解析に使用した植生指数

植生指数	式	引用文献
Excess Green (ExG)	$ExG = 2 \times (G - R - B) / (G + R + B)$	Woebbecke <i>et al.</i> , 1995
Excess Red (ExR)	$ExR = 1.4 \times (R - G) / (G + R + B)$	Meyer <i>et al.</i> , 1999
Green-Red Vegetation Index (GRVI)	$GRVI = (R - G) / (R + G)$	Motohka <i>et al.</i> , 2010
Color Index of Vegetation Extraction (CIVE)	$CIVE = 0.441R - 0.811G + 0.385B + 18.78745$	Kataoka <i>et al.</i> , 2003

3. 結果と考察

地上調査により取得した草量のデータの分布を図 1 に示す。全データ数は 419 点で、そのうち 1 番草のデータが 335 点、2 番草以降のデータは 84 点であった。草量の平均値は 384.2 g DM/m^2 、最小値が 33.6 g DM/m^2 、最大値が 1148.0 g DM/m^2 であった。

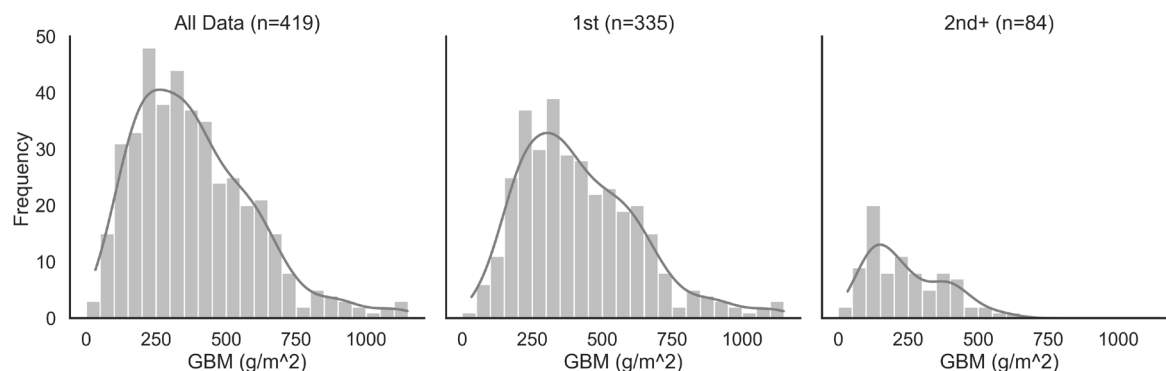


図 1. 地上調査における草量データの分布
1st:1 番草, 2nd+:2 番草または 3 番草のデータ

取得した全サンプルを用いて構築した RFR モデルによる草量推定では、検証用データにおいて $R^2 = 0.53$, $RMSE = 151.36$ であった。このモデルでは高い草量域において推定値が実測値から乖離して、飽和する傾向が認められた(図 2-a)。このように推定値が飽和してしまう現象は、NDVI 等の植生指数を用いた草量推定において確認されており、この問題に対し、応答変数を対数変換して用いることで推定精度が改善されたことが報告されている(Lim *et al.*, 2015)。そこで、応答変数である草量を対数変換してモデルを再構築し、推定値飽和の改善を試みた。全データを用いた場合、学習用データでは高い精度で推定されたが、検証用データの推定精度は推定精度の向上はほとんど認められなかった($R^2 = 0.58$, $RMSE = 0.38$) (図 2-b)。一方で、1 番草のデータに限定してモデルを構築した場合、検証用データの推定精度が改善された($R^2 = 0.68$, $RMSE = 0.30$) (図 2-c)。ただし、両モデルとも、検証用データの推定値は、学習用データが示す傾向と比較して高い草量域において実測値を過小評価する傾向が残っていた(図 2-b, c)。

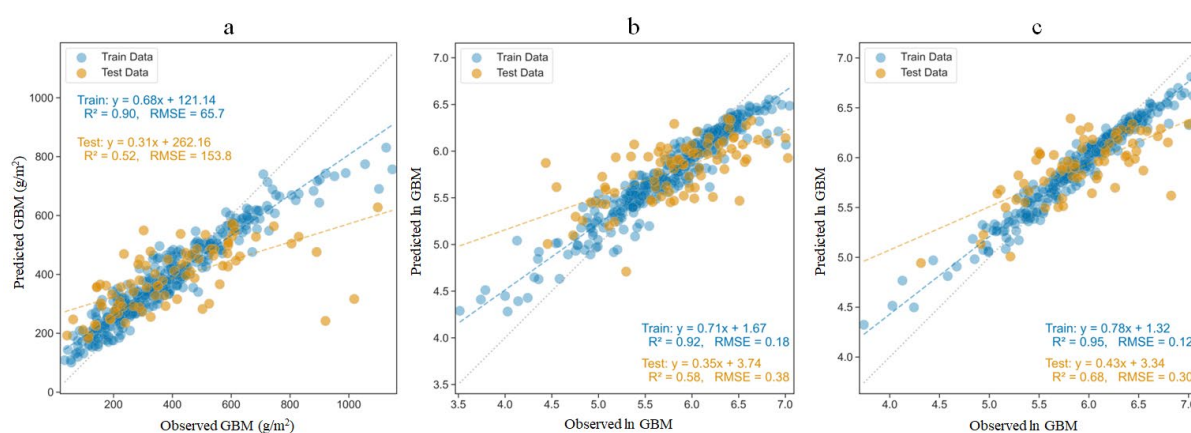


図 2. RFR によるドローンを用いた草量推定モデルの精度
a:地上調査した全データを用いて推定, b:草量の値を対数変換して推定,
c: 草量の値を対数変換し、1 番草のデータのみを用いて推定

1 番草の地上調査データに基づき構築した RFR モデル(図 2-c)を適用し、圃場全体の草量推定マップを作成した(図 3-a)。作成した草量推定マップと RGB 画像を比較した結果、裸地や轍などの植被率が低い場所で草量を過大に推定する傾向が見られた(図 3-b, c)。これは、RFR モデルの教師データに裸地や被植率の低いデータが含まれていなかったことから、モデルが未知のデータに対して誤った推定を行ったものと考えられる。

今回構築した RFR による草量推定モデルでは、番草を区別しない場合に推定精度が低い傾向にあった。これについては、2 番草は 1 番草に比べて生育の不均一性が大きく、リモートセンシングによる生育の推定が難しいことが報告されている(Kiyama *et al.*, 2023)。また、データを 1 番草に限定することで精度が改善されたものの、検証用データで高い草量域の草量を過小評価する傾向が見られた。これは、1 番草のデータに限定した場合でも十分な学習ができていないことを示唆している。そのため、教師データの量と多様性のどちらも不足したことでモデルの汎用性が得られなかったと考えられた。

以上のことから、より高精度で汎用的な草量推定モデルを構築するためには、データ数を増やすだけでなく、多様な地域や時期、番草を含むデータを収集し、モデルに学習させることが重要であると考えられた。

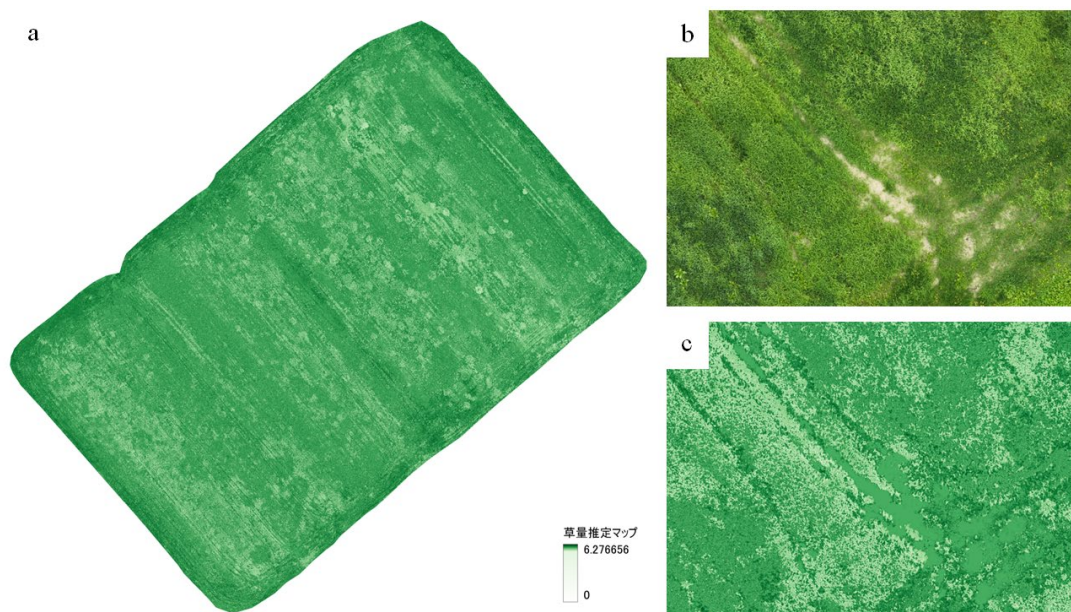


図 3. 草量推定マップ

a: 圃場全体の草量推定マップ, b: 圃場内の RGB 画像の拡大図, c: 画像 b に対応する草量推定マップ
草量推定マップは図 2-c の RFR モデルを用いて作成した。

引用文献

- Kataoka, T., Kaneko, T., Okamoto, H., Hata, S. (2003) Crop growth estimation system using machine vision. In: *Proceedings of 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, 2, pp. b1079-b1083. IEEE.
- Kiyama R. and Uchida Y. (2023) Seasonal changes in the prediction accuracy of hayfield productivity using Sentinel-2 remote-sensing data in Hokkaido, Japan. *Grasses*, 2, 57–67.
- Lim, J., Kawamura, K., Lee, H.J., Yoshitoshi, R., Kurokawa, Y., Tsumiyama, Y., Watanabe, N. (2015) Evaluating a hand-held crop-measuring device for estimating the herbage biomass, leaf area index and crude protein content in an Italian ryegrass field. *Grassland Science*, 61, 101–108.
- Motohka, T., Nasahara, K., Oguma, H., Tsuchida, S. (2010) Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. *Remote Sensing*, 2, 2369–2387.
- Woebbecke, D. Meyer, M., Von Bargen, K., Mortensen, D.A. (1995) Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, 38(1), 259–269.

十勝における営農支援システムの紹介と活用事例

○井出陽菜(十勝農協連)

1. はじめに

十勝農業協同組合連合会(以下、本会)では、十勝管内の生産者および農協担当者を対象とした営農支援システムである「十勝地域組合員総合支援システム(以下、TAFシステム)」の運用を2017年より開始した。現在では、十勝管内の23農協において生産者の80%以上がユーザー登録をしている。

TAFシステムには、畑作物から酪農畜産に至るまで総合的に支援することを目的に、気象情報や農作業の履歴、土壌や飼料の分析結果など様々な情報を閲覧する機能を備えている。TAFシステムの機能のうち、主に畑作分野で利用されている圃場管理機能について、生産現場での活用事例とあわせて紹介する。

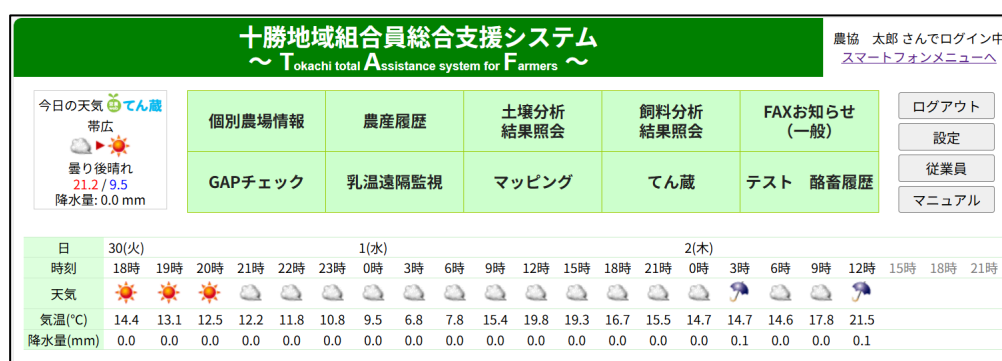


図1. TAFシステムのホーム画面(テスト用アカウント)。

2. 圃場管理機能「マッピングシステム」について

十勝管内のほとんどの農協では、専用のGISソフトを利用して、生産者が提出した作付計画をもとに圃場図の作成・管理を行っている。本ソフトに登録されている圃場情報は、農協担当者しか閲覧することができなかったが、TAFシステムを通じて生産者がWEB上で圃場図を閲覧できる機能として「マッピングシステム」を2018年に構築した。本システムでは、利用するユーザーにより閲覧できる情報が異なり、農協担当者は地域全体の圃場情報が、生産者は本人の圃場情報のみが表示される。マッピングシステムには、圃場図に加えて耕作者、作物・品種、面積等の情報が登録されており、単年度だけでなく最大で過去10年分の作付け状況を振り返ることができる。また、登録されている圃場情報に、気象データや衛星画像等の外部データを連携させ、生産性向上やコスト低減に貢献するための機能を提供している。

3. 生産現場での活用事例

マッピングシステムでは、欧州宇宙機構のSentinel-2衛星が撮影した画像を公開している。この衛星画像からNDVI(正規化植生指数)の解析を行う機能があり、圃場内の生育を相対的に評価して10段階の色分けで表示する。本機能では、単一圃場だけでなく、複数圃場の生育も比較することができるため、地域全体の収穫適期の判断等に利用することができる。

十勝管内では、秋播小麦の収穫機を共同で利用している生産者集団が多く、収穫前に集団の代表者や農協担当者の圃場巡回により収穫順番を決めているが、見回りにはかなりの労力と時間がかかる。労力削減として、一部の農協ではマッピングシステムの衛星画像の解析結果を収穫順番の参考として利用している。

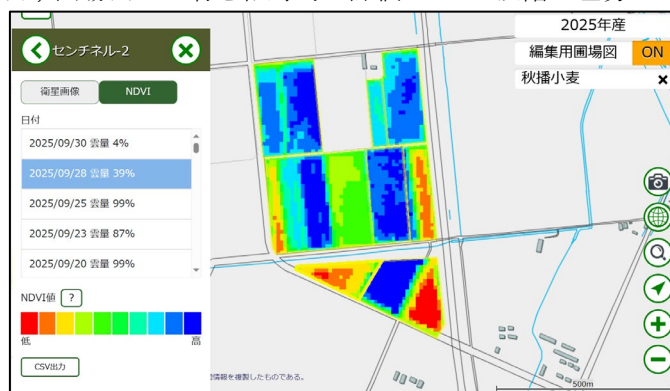


図2. NDVIの解析結果から作成された生育マップ。

また、衛星画像の解析機能を活用して、解析で得られた生育マップから可変施肥を行うためのマップを作成する機能を 2024 年から運用開始した。可変施肥とは、圃場内の作物の生育や土壌のばらつき等をセンシングデータから判断し、圃場の場所ごとに施肥量を自動で調整する技術である。本会のマッピングシステムにて作成した可変施肥マップは、shape ファイルまたは ISO-XML 形式で出力可能で、トラクターのガイダンスシステムまたは可変施肥が可能な肥料散布機に取り込み利用する。生産者は、可変施肥マップを作成する際に、施肥量を自身で調整できるほか、肥料銘柄や圃場全体の総施肥量、反当りの施肥成分量、肥料代を確認することができる。

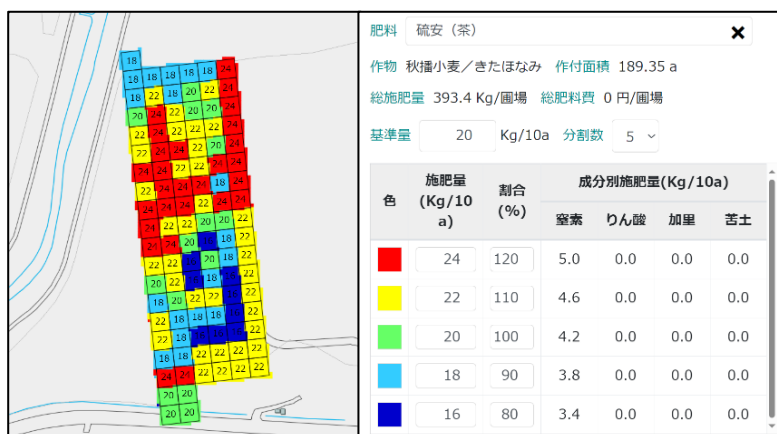


図 3. 可変施肥マップの作成画面。
テスト環境のため、総肥料費は 0 円となっている。

4. 今後の課題

TAF システムは、十勝管内の畑作物および酪農畜産に携わるすべての生産者を対象としているが、マッピングシステムは畑作物分野での利用が主体となっており、酪農畜産分野への普及が課題となっている。マッピングシステムには、衛星画像だけでなく、気象データや土壌分析結果等のデータも蓄積されているため、飼料の収量や品質の向上に繋がるような活用方法を検討し、今後酪農畜産分野での利用推進も強化していきたい。

新技術が変える酪農地帯の土地利用 ～ 光が照らす草地の未来

○岡元 英樹(道総研酪農試 天北支場)

1. はじめに

北海道では農家戸数の減少に伴い、1戸あたりの圃場面積は拡大傾向にある。特に草地酪農地帯では、近年、深刻な労働力不足が進行しており、飼料生産システムの効率化が喫緊の課題となっている。一方、円安の影響による飼料輸入コストの上昇を背景に、自給飼料の確保と草地の生産性向上は、酪農経営の安定に直結する重要なテーマとなっている。

このような状況の中、リモートセンシング技術は、これらの課題に対し有効な解決策となり得る。本シンポジウムでは「技術の開発」をテーマに、植生判別や草量推定のための取り組み、および衛星画像を用いた解析のスケールアップに関する現状と課題を報告してきた。

本報では、これらの技術が実用化された際に、草地管理、土地利用にどのような改善が期待できるのかについて、いくつかの具体的な視点から提案を行いたい。

2. 植生改善のために

衛星画像によって草種の判別が可能になれば、草種構成の良好な草地と不良な草地を識別でき、不良な草地に対しては何らかの改善策を講じることが可能になる。しかし、不良化の理由は必ずしも単純ではなく、不良な草地に対して画一的に改善を試みても、効果が十分に得られないことがある。

図1は、あるTMR農場の草地において、2013年および2023年に実施した植生調査の結果、冠部被度によるイネ科牧草の割合を示したものである。調査の結果、2013年時点でイネ科牧草の割合が高かった圃場は、2023年でも引き続き高い割合を維持している事例が多く、逆に、2013年に低かった圃場は2023年でも低いままである事例が多かった。このことは、イネ科牧草の割合が低かった草地では、単なる経年による劣化だけではなく、他の要因によっても草種構成が悪化していた可能性が高いことを示唆している。そのような草地においては、たとえ更新を行っても、十分な改善効果が得られない可能性がある。したがって、改善策は一律に適用すべきではなく、各草地の特性に応じた要因の見極めが重要となる。

悪化の要因としては、「更新の成否」、「管理方法」、および「土壌条件」が考えられる。このうち、「更新の成否」については、既に提案されている適切な更新手法(出口ら 2017)を遵守し、牧草の定着に適した時期に実施することが重要であり、「管理方法」に関しては、各草地において優良草種を損なわないような管理が求められる。一方で、特に重要なのが「土壌条件」、中でも「乾き易さ(排水性)」である。排水性の悪い草地では、優良牧草が湿性雑草に置き換わる(図2)だけでなく、適切な時期に圃場に入れず管理作業を行うことが困難になり、結果として更新の成否や管理そのものにも悪影響を及ぼす。

この「乾きやすさ」に関しては、有田・二門(2018)によって、ジピリジル溶液を用いた土壌還元反応の判定値が高い圃場ほど湛水しやすい傾向があることが示されている。これに基づき、土壌還元反応判定値を用いて草地を簡易に分類する手法が提案されている。さらに、「デジタル土壌図」(神田ら 2017)や「地力保全基本調査による北海道の耕地土壌図」(中央農業試験場 2022)などを活用することで、各圃場が位置する土壌区の特性を把握することも可能である。

このように、現在は優良牧草の割合が同じ程度に低い草地であっても、衛星画像によって草種構成の経年的な変化を把握することが可能になれば、それぞれの草地に応じたきめ細やかな改善策の検討が可能となる。例えば、経年的にイネ科牧草の割合が急速に低下している草地については、安易に更新を行うのではなく、まず土壌還元反応判定値や土壌図などを用いてその「乾きやすさ」を評価し、排水性に課題がある場合には、明暗渠の整備、簡易暗渠の設置、あるいは心土破砕などによって排水性を改善する対策を優先すべきである。このような対応により、更新による効果が十分に発揮される草地を選定して実施することが可能となり、結果として草地の改善効果を高めつつ、コストの削減にもつながる。

3. ニーズに合った粗飼料生産のために

2. では草種の判別が可能になった場合における草地改善策について述べた。ここではさらに、草量も把握できるようになった場合を想定し、草地管理や粗飼料生産がどう改善されるかについて言及したい。

各草種においては、『日本標準飼料成分表』(中央畜産会 2009)およびこれまでの研究成果(増子ら 1994;岡元・古館 2007)により、標準的な施肥および刈取り管理を行った場合の、各時期における飼料成分(粗飼料としての質)が明らかになっている。また、地域ごとの草種の生育ステージについても、年次による変動はあるものの、ある程度の傾向が把握されている。したがって、リモートセンシング技術により草種と草量が把握できれば、それぞれの地域の草地で生育ステージを踏まえて、牧草の質と量を推定すること、適切な刈取り時期におけるポテンシャル収量を把握することが可能となる。これにより、その圃場から得られる粗飼料の供給量と成分を、事前に大まかに試算できる。

北海道内においても、農業副産物を粗飼料として活用できるかどうか、飼料用トウモロコシなどを自給しているか、さらには乳牛にどの程度の乳量を求めるかといった事情は、地域や経営体ごとに大きく異なる。そのため、各経営において求められる粗飼料には、質的にも量的にも幅広いニーズの差があり、それに応じた生産が求められる。例えば、以下のようにさまざまなケースが考えられる。①維持管理を適切に行い、チモシーなどの優良牧草によって、高い品質と収量の両立を目指すケース、②維持管理をある程度省力化し、高品質は望めないがリードカナリーグラスなどにより、ある程度の収量確保を重視するケース、③施肥コストを抑えたい、あるいは遠隔地によりふん尿散布が困難で、収量はあまり見込めないが、草種構成の悪化は防ぎたいというケース、などである。

こうした多様なニーズに対し、今回の研究で開発したリモートセンシングによる草種および草量の把握技術が活用されれば、各圃場の牧草の質と量を的確に把握することが可能になる。これにより、施肥量・刈取時期・刈取回数の調整などを通じて、経営ごとの目標とする収量や品質に近づけることができる。また、各圃場から得られる粗飼料の特性に応じて、濃厚飼料など他の飼料資源との組み合わせによる飼養設計の最適化も期待される。さらに、「その圃場からどの程度の品質・収量が欲しいか」というニーズと 2.で取り上げた「経年的な草種構成の悪化状況」とを照らし合わせることで、優良牧草への更新を行うべきか、あるいは既存草種のまま、施肥や刈取り管理を適切に行って維持すべきか、といった管理方針の選択をシミュレーション的に判断することも可能になる。

4. 圃場管理、土地利用の指標として

最後に、さらに一歩進めて、今回のリモートセンシング技術が草種や草量を明らかにすることで、土地利用や圃場管理にどのように活用できるかについて検討したい。

一般に草地では、同一圃場内でもスポット的に草種構成に局在が見られる。現在、一部で導入され始めている技術として、広葉雑草(例:エゾノギンギシ)の局在を検出し、局所的に除草剤を散布して簡易的な更新を行う「ピンポイント防除」(サングリン太陽園 2022)や、イネ科雑草と優良牧草を判別して、乾物生産効率の低い雑草への施肥を抑制する「局所施肥」などがある。今回開発した草種判別技術は、これらの技術を支える基盤として有効であり、草種の空間的分布を高精度で把握できることで、これらの技術の導入障壁が下がり、より広範かつ多様な条件下での適用が可能になると期待される。

また、イグサ類の繁茂する草地は、湛水期間が長かったり、地力が低下していたりするなど、もともと生産性が低い場合が多い(大村・赤城 1985)。ハルガヤも同様に、pH や肥沃度の低下した草地に多く見られる(畜産試験場ら 2018)。こうした傾向に基づき、草地荒廃の指標植物として特定の草種を抽出し、それらの出現割合によって、更新の必要性や pH 矯正、物理性の改善といった管理判断を行う手法も、有効な管理手段の一つとなり得る。

圃場管理として考える上では、草地は飼料用トウモロコシや飼料用麦類との輪作的な利用が本来望ましい。草地利用で形成されたルートマット中の栄養分を畑作時に活用できるだけでなく、永年雑草の実生や種子を適切な除草剤散布で駆除できる。また、有田・二門(2018)によって報告されているように、作土層の堅密化(ち密度の上昇)は牧草収量の低下を招く(表 1)が、畑作利用時の耕起によってこの問題を解消し、生産性を向上させることも可能である。リモートセンシングによって草地の状態を精密に把握できるようになれば、その都度輪作が効果的な改善をもたらす圃場を適切に選定することができ、輪作のメリットをより効果的に享受できるようになる。

さらに、これらの草種や草量に関するデータが経年的に蓄積されることで、生産者や農業関係団体は、各圃場の傾向や有効な技術について、具体的なデータに基づく検討や議論を行うことが可能となる。その結

果,より実践的な各圃場利用の重み分け(分級)が実現し,特に担い手が少ない地域においては,熟練労働者の経験に依存することなく作業の効率化が図られ,分級に応じた効率的な管理が可能になると考えられる。

5. おわりに

リモートセンシング技術の実用化は,北海道の草地酪農地帯が抱える労働力不足,収量の不安定さ,飼料自給率の低下といった課題に対し,多角的な改善策を提供しうる。本報では,草地管理における具体的な改善の方向性を提示したが,今後はこれら技術の現場導入を進めるために,関係業界との連携強化や教育・研修体制の整備が不可欠であろう。

引用文献

- 有田敬俊・二門 世(2018)北海道天北地域の採草地における土壌還元反応と乾き易さの関係. 日草誌 64 別:65
- 畜産試験場・上川農業試験場天北支場・北海道大学・ホクレン(2018)草地における難防除雑草「ハルガヤ」の生育特性と低減対策. 平成 30 年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部編, 札幌, p62-64
- 中央畜産会(2009)日本標準資料成分表(2009 年版). 中央畜産会編, 東京, p1-287
- 中央農業試験場(2022)地力保全基本調査による北海道の耕地土壌図. 北海道立総合研究機構中央農業試験場, 長沼, https://www.hro.or.jp/agricultural/research/chuo/organization/kankyou/map_index.html [2025 年 9 月 30 日参照]
- 出口健三郎・井内浩幸・中村直樹(2017)植生改善のための地下茎型イネ科雑草種に対応した除草剤体系処理方法. 北農 84(4):48-53
- 神田隆志・高田裕介・若林正吉・神山和則・小原 洋(2017)包括的土壌分類第 1 次試案に基づく縮尺 1/5 万全国デジタル農耕地土壌図の作成. 土肥誌 88:29-34
- 増子孝義・小野淳史・古川信明・大谷 忠(1994)北海道で栽培した寒地型イネ科牧草における粗蛋白質, ADF および可溶性糖類(WSC)含量の生育ステージ別,刈取り回次別変化. 日草誌 40:227-229
- 岡元英樹・古館明洋(2007)天北地方における主要イネ科 3 草種の採草利用時の生育・飼料特性. 道立農試集報 91:31-40
- 大村邦男・赤城仰哉(1985)採草地における植生推移と土壌養分環境の関連性について. 道立農試集報 53:33-42
- 大塚博志(2017)北海道の草地の現状と生産現場で展開された草地植生改善の取り組みの成果および課題. 北農 84(4):32-39
- サングリン太陽園(2022)会社情報 酪農学園大学と共同でピンポイント除草の実証実験を行いました. 株式会社サングリン太陽園, 札幌, <https://sun-green.co.jp/6116/h> [2025 年 9 月 30 日参照]

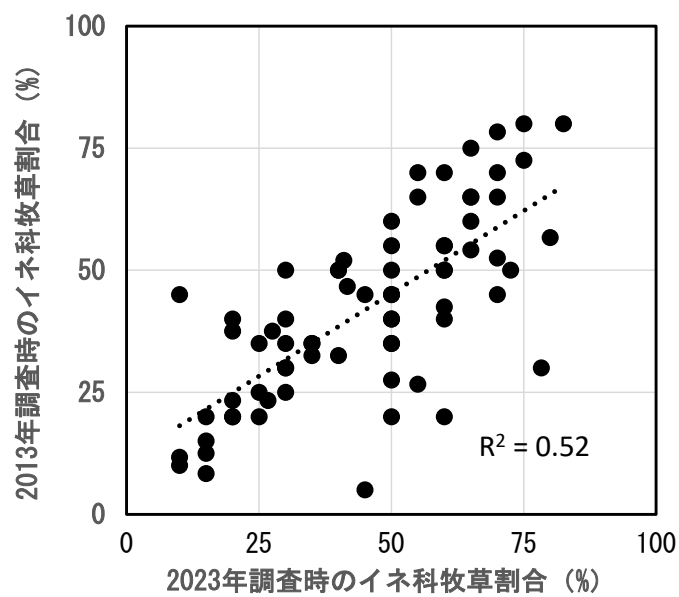


図1 TMR 法人の草地における 2013 年と 2023 年のイネ科牧草割合(冠部被度)。

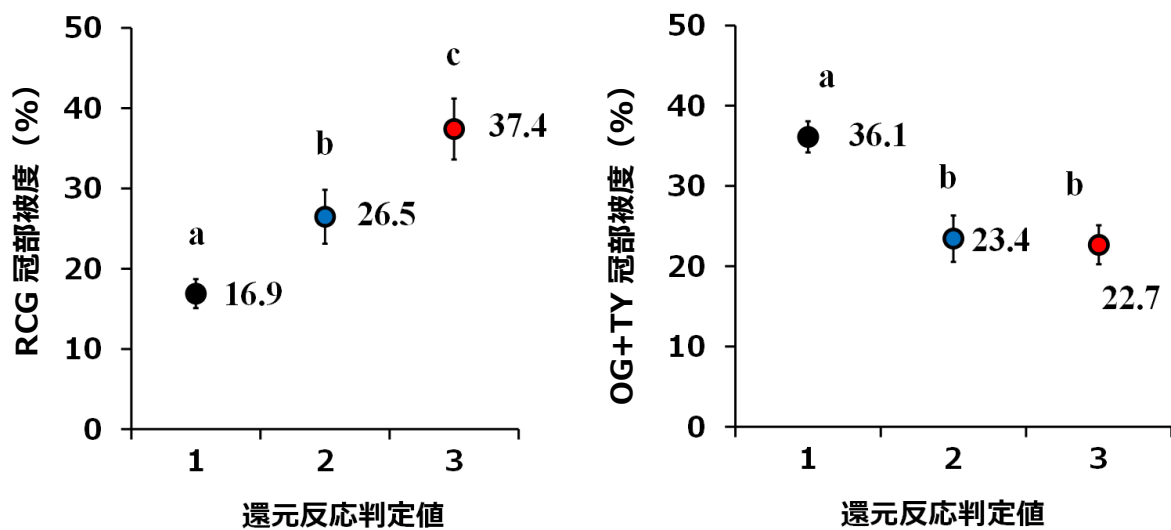


図2 還元反応判定値の異なる草地における各草種の冠部被度. 左が RCG、右が TY+OG.
(有田・二門 2018 より抜粋)

表1 ち密度と1番草乾物収量との相関係数.

対象圃場	測定深度 (cm)				
	5	10	12.5	15	20
全ての圃場	-0.02	-0.09	-0.12	-0.19	-0.03
OG+TYの合計被度 50%以上圃場	-0.33	-0.46	-0.54*	-0.43	-0.34

*は5%水準で有意差ありを意味する。

有田・二門(2018)より抜粋。

深層学習に基づく画像解析を用いたヤギの視線角度の定量化

○岩井宏平・澤田 玲・瀬戸口 暁・熊谷 元・塚原洋子・大石風人(京都大院農)

1. はじめに

動物行動の目視観察には、観察者バイアスを排除しにくく、記録・判定に多大な労力と時間を要するという課題がある。昨今の発展が著しい深層学習技術は、動物行動を客観的かつ効率的に定量化するための有力な手段の一つである。この技術は、社会的認知などを反映する視線のような微細な行動の解析にも応用が期待される。本研究の対象であるヤギは、視覚情報を用いて個体識別を行うことが知られており(Deutsch *et al.*, 2024)、両眼視野角が約 60 度である(Pitcher *et al.*, 2017)など視野に対する研究報告例もあるが、両眼視と単眼視の使い分けといった具体的な視覚特性の定量化は十分ではなかった。本研究では、深層学習ツール DeepLabCut(Mathis *et al.*, 2018)を用い、ヤギの頭部座標から「視線角度(θ)」を算出する新たな画像解析手法を導入し、従来は困難であったその客観的な定量化を目的とした。

2. 方法

沖縄在来種ヤギ 6 頭(ヤギ A-F)を供試動物とし、そのうち 2 個体を向かい合わせた個別ケージにそれぞれ配置した試験(対峙試験)において上面から動画を撮影し、得られた画像を用いて行動を解析した。対峙試験は時期を分けペンメイトごとに 2 回(実験 1:ヤギ A, B, C, 実験 2:ヤギ D, E, F)行われた。DeepLabCut(ver. 2.3.7)で頭部・体幹のマーカーレス姿勢推定を行い、①尤度に基づく信頼度閾値処理、②1 秒間隔でのリサンプリング、③ケージ四隅座標に基づくホモグラフィ変換を施し、座標データの補正を行った。補正後の座標から頭部正中線を基準に視線角度 θ を算出した。本手法の妥当性評価のため、算出した θ を定義した視野角カテゴリ(両眼視・単眼視・死角)へ分類し、1 秒間隔スキャンによる目視観察データとの一致の程度を κ 係数および混同行列で評価した。また、連続量としての θ の絶対値 $|\theta|$ および変化量 $|\Delta\theta|$ を応答変数として、対峙相手と時間帯(0–15 分 / 15–30 分)の効果を一般化線形モデルで解析し、各効果の最小二乗平均値の差は多重比較により評価した($P < 0.05$)。

3. 結果と考察

本研究で用いた深層学習に基づく画像解析手法により得られたデータは、目視観察により得られたデータと良好な一致(Accuracy = 0.901)を示し、その妥当性が支持された。さらに、本手法による定量的解析の結果、対峙する 2 個体間で視線角度の絶対値($|\theta|$)に非対称な関係が見出された。この関係性に基づき社会順位を推定したところ、実験 1 では体重順($B > A > C$)、実験 2 では月齢順($E > F > D$)と一致した。これらの結果は、深層学習を用いた画像解析により、これまで定量化が困難であった視線角度を評価することが可能となることを示しており、さらにそれが動物の個体間関係や社会構造を反映する微細な行動変化に対する客観的な一評価指標となり得ることを示唆するものである。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費(JP24K09161)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。

参考文献

- Deutsch, J., Lebing, S., Eggert, A., Nawroth, C. (2024) Goats who stare at video screens – assessing behavioural responses of goats towards images of familiar and unfamiliar con- and heterospecifics. *Peer Community Journal*, 4, e94.
- Mathis, A., Mamidanna, P., Cury, K.M., Abe, T., Muthy, V.N., Mathis, M.W., Bethge, M. (2018) DeepLabCut: markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning. *Nature Neuroscience*, 21(9), 1281–1289.
- Pitcher, B.J., Briefer, E.F., Baciadonna, L., McElligott, A.G. (2017) Cross modal recognition of familiar conspecifics in goats. *Royal Society Open Science*, 4(2): 160346.

セミ乾式バイオガスプラント導入による GHG 排出量評価

○稲田祐樹(京都大農)・瀬戸口 暁(京都大院農)・保井聖一(エア・ウォーター北海道(株))・木村義彰(道総研畜試)・荻野暁史(農研機構)・大石風人(京都大院農)

1. はじめに

酪農現場におけるふん尿処理は、メタンや一酸化二窒素の発生を通じて温室効果ガス(GHG)排出の大きな要因となっており、バイオガスプラントの導入によるエネルギー回収や環境負荷低減が期待されている。先行研究において、大規模酪農家を対象とした湿式バイオガスプラントの導入に関する環境影響低減効果は報告されている(Setoguchi *et al.*, 2022)ものの、セミソリッド状の牛ふん尿を生じる小規模酪農家を対象としたセミ乾式バイオガスプラントに関して未だ環境影響評価は報告されていない。また、従来用いられてきた敷料(麦稈、おがくずなど)のコスト上昇や入手の困難化が進んでおり、敷料を外部から購入せずに再生敷料として自給することが検討されている。再生敷料とは、バイオガスプラントでのメタン発酵を経た消化液の分離固形分から得られる敷料である。そこで本研究では、セミ乾式バイオガスプラント導入がもたらす環境影響低減効果を試算することを目的に、ふん尿処理にかかる GHG 排出量の評価を実施した。

2. 方法

本研究では、搾乳牛 70 頭規模の酪農家を想定したセミ乾式バイオガスプラント導入に関するシミュレーションを行った。対象としたプロセスは、敷料が混合した原料の受け入れから、発酵槽でのメタン発酵、バイオガス発電、固液分離、さらに発生する分離液分の貯留や分離固形分の堆肥化までを含むふん尿処理に関わる一連の工程である。加えて、購入敷料を使用する際には麦稈の生産や輸送にかかる GHG の排出も考慮に入れた。比較条件として、①購入敷料利用かつバイオガスプラントを用いない堆肥化・貯留処理(対照区)、②購入敷料利用かつセミ乾式バイオガスプラント導入による処理(プラント麦稈区)、③再生敷料利用かつセミ乾式バイオガスプラント導入による処理(プラント再生敷料区)の 3 区を設定した。環境影響量は牛 1 頭当たりの GHG 排出量を二酸化炭素等量で換算することで算出され、各条件における環境影響量が比較評価された。

3. 結果と考察

セミ乾式バイオガスプラントを導入した場合、堆肥化・貯留処理の対照区に比べてふん尿処理における GHG 排出量は 45%低減した。さらに麦稈に代えて再生敷料利用を組み合わせた場合には対照区と比べ 48%の低減効果が見られた。これは発電によるオフセットに加えて、発酵槽においてバイオガスの合成に有機物が消費されたことで、その後の工程で排出されるメタンの量が減少したことが一因として挙げられる。本研究の結果はモデル評価に基づくものであり、今後は実測データの蓄積やライフサイクルアセスメントによる酪農生産全体を見据えた精緻な検証が必要である。総じて、セミ乾式バイオガスプラント導入は畜産由来 GHG 排出削減の有効な選択肢となりうることが示唆された。

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

Setoguchi, A., Oishi, K., Kimura, Y., Ogino, A., Kumagai, H. and Hirooka, H. (2022) Carbon footprint assessment of a whole dairy farming system with a biogas plant and the use of solid fraction of digestate as a recycled bedding material. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 15, 200115.

垂直型ソーラーシェアリング下での牧草の栽培環境と生育の評価

○佐藤圭吾(福島大院食農)・牧 雅康(福島大食農)

1. はじめに

2011 年に発生した東日本大震災による原発事故以降、日本では再生可能エネルギーへの関心の高まりなどによって太陽光発電は積極的に導入されてきた。今後も、2050 年までに「カーボンニュートラル」を実現するために、日本各地でソーラーパネルの設置数は増加していくことが考えられる。しかし、ソーラーパネルを設置するために必要な土地は年々減少しており、発電量を増やすためには、これまでとは違う設置方法が求められている。そこで、本研究では新たな設置方法であるソーラーシェアリングについて検証する。ソーラーシェアリングとは、農作物を育てながら太陽光発電をする仕組みであり、新たに土地を確保する必要がなく発電量を増やすことができることから、今後も導入が見込まれる。しかし、ソーラーシェアリングの研究は始まったばかりで、特に垂直型太陽光発電については先行研究が少ないため分かっていないことが多いのが現状である。そこで、本研究では垂直型ソーラーシェアリング下の栽培環境および生育の特性に、どのような特徴が見られるかを気象計や土壌センサーなどの計測機器を用いて明らかにすることを目的とした。

2. 方法

対象地には、福島県二本松市にある日本初の垂直型ソーラーシェアリングを導入した圃場で検証を行った。計測期間は、牧草の一番草の生育期間である3～5月に計測を行った。計測機器の設置位置は、事前に 3D スキャナを用いて計測した垂直ソーラーパネルの点群データから 3D モデルを作成し、影の範囲を把握したのち各種計測機器の位置を決め、データを収集した(図1)。今回は気温や湿度、日射量、土壌温度、土壌水分量を計測した。さらに期間中、一定期間ごとにドローンを飛ばして対象地域を撮影し、その画像からNDVIの値を求め植生量の違いを評価した。これらの結果から、垂直ソーラーパネルがあることで生育にどのような違いがあるかを評価した。

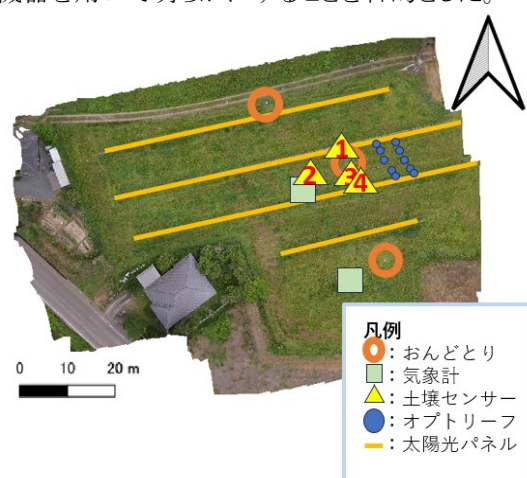


図 1. 計測機器の設置位置。

3. 結果と考察

調査の結果、日射量はパネルの影になる部分で減少し、さらに太陽高度の変化に伴って影も移動し、計測地点の日積算日射量が最大になる地点が変化することが確認された。土壌温度については、パネルの影になる地点では温度が低く、影にならない地点では温度が高くなる傾向が見られた。土壌水分についても同様にパネルの影にならない場所で値が低く、パネルがある場所で高い値を示した。これは先行研究(Akbar *et al.*, 2024)と同じ傾向を示しており日本でも同様の結果が得られることが分かった。このことから、パネルがあることで生育環境に影響を与えていると考えられる。気温については、パネルの影にならない地点よりも、影になる場所の方が高くなることが分かった。これは太陽光によって温められたパネルが周囲の温度を上昇させた結果、パネルの影にならない地点よりもパネルの近くの方で温度が高くなったと考えられる。一番草の収穫直前に計測した NDVI の値は、パネルに対して南側よりも北側の方の値が高くなる結果が得られた。

今後、これまでに集めたデータから見られる植生量の違いが、ソーラーパネルによる影響なのか土壌の違いによって変化しているのかを調査するために、オプトリーフで計測した場所の土壌をそれぞれ 3 箇所ずつ採取し、土質の違いを調査する予定である。

引用文献

Akbar, A., Mahmood, F. ibne, Alam, H., Aziz, F., Bashir, K., Zafar, Butt, N. (2024) Field assessment of vertical bifacial agrivoltaics with vegetable production: a case study in Lahore, Pakistan. *Renewable Energy*, 227, 120513. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120513>

空間的自己相関と拡散効果を考慮した外来植物の分布モデルの作成

○加藤成剛・渡邊 修(信州大農)

1. はじめに

近年、長野県内で外来植物の分布が急速に拡大し、生態系への影響が懸念されている。外来植物を効率的に管理するためには、発生を規定する要因を明らかにし、外来植物の発生が進みやすい環境を特定することが重要である。一般的には、外来植物の発生状況を応答変数とし、外来植物の発生に関与すると考えられる環境要因を説明変数とした回帰モデルを構築し、偏回帰係数 β の値で評価する手法が用いられてきた。

しかし、この環境要因のみでモデルを構築すると残差にしばしば空間的自己相関が残ってしまう。これは、多くの生物の発生が周辺地域の発生状況に依存する傾向があるからだと考えられ、回帰モデルが前提とする「誤差項の独立性」に反する。その結果、偏回帰係数の推定値や信頼区間を過小評価し、モデルの信頼性や解釈性が損なわれる可能性がある。そこで本研究では、(1)誤差項に iCAR 構造を導入し、未知の空間構造をランダム効果として吸収させる方法、(2)説明変数に隣接する地点の発生状況を変数として組み込み、明示的に拡散効果をモデル化する方法でこの課題に対処した。これらをモデル構造に導入することで、外来植物の発生要因をより正確かつ現実的に推定できるモデルの構築を目指した。

2. 方法

調査対象地は長野県上伊那地域と霧ヶ峰地域(約 190 km²)である。本研究ではフランスギクとオオキンケイギクの分布モデルの検討を行った。外来植物の分布情報は 2025 年に車載カメラと自作の外来植物検出用 AI モデルを利用した調査によって取得した。この分布情報をもとに得られた検出率(= 検出地点数 / 撮影地点数)を 0 から 3 までの 4 段階の発生レベルにカテゴリ分けし、これを応答変数とした。説明変数は全て標準化し、かつ変数間で多重共線性が確認されなかった 12 個の環境要因を設定した。この応答変数と説明変数を用いた順序ロジスティック回帰モデルを作成した。これらの変数は 4 次メッシュ(500 m メッシュ)内の値をもとに算出されている。また、隣接の発生状況を表現する変数として「隣接メッシュの平均発生レベル」を用意した。これは、あるメッシュに隣接する最大 8 個のメッシュの発生レベルの平均値である。

モデル作成は以下の 4 つのモデル構造を比較し検討した。比較手法は残差を用いた Moran の I 検定で行い、残差の空間的自己相関の有無を確認した。本研究で作成するモデルは応答変数がカテゴリカルデータであるため、従来の残差定義が直接使用できないことから、Dunn-Smyth 残差を用いた。

1. 環境要因のみモデル
2. 環境要因 + 誤差項への iCAR 導入モデル
3. 環境要因 + 隣接メッシュの平均発生レベルモデル
4. 環境要因 + 隣接メッシュの平均発生レベル + 誤差項への iCAR 導入モデル

3. 結果と考察

Moran の I 検定を行った結果、残差に空間的自己相関が 95%水準で統計的に有意でなかったモデル構造は残差の隣接メッシュの平均発生レベルを導入したモデル 3 と 4 であった。このことから、残差の空間的自己相関を解消するには隣接する地点の情報をモデルの説明変数として利用することが有用であることが示された。

一方で、誤差項への iCAR 導入は残差の空間的自己相関を十分に解消することはできなかった。iCAR の導入は誤差項を空間的に滑らかなものにする効果はあるが、明示的に拡散効果をモデルに組み込んでいないためであると考えられる。そのため、より正確に説明モデルの解釈や信頼性を求める場合は、本研究のように隣接地点の情報をモデルに投入することが必要であると考えられた。

クローラを搭載した移動式カメラを用いた カボチャの葉の病害自動診断システムの検討 ○岩切舞香・神田英司(鹿児島大)

1. はじめに

小玉種のカボチャは、近年、食味や調理のしやすさから需要が高まっている。特に立体栽培に適しており、露地栽培と比較して収量が増加するだけでなく、果実外観が向上し、上物収量が多くなることが報告されている(浅野ら 2014)。一方で、カボチャの葉に発生するうどんこ病やべと病は光合成能の低下等により、収量や品質に大きな被害を及ぼすため、早期発見と対策が不可欠である。しかし、圃場を巡回して病害の発生状況を調査する作業は、農家の負担が大きい。そこで本研究では、クローラを搭載した移動式カメラで撮影したカボチャの葉の画像を用い、深層学習による病害自動診断手法の構築に取り組んだ。

2. 方法

実験は鹿児島大学第 1 号温室において実施した。栽培条件は高さ約 2 m の立体栽培とし、カボチャ 15 株を全長 7.5 m の範囲に配置した。CuboRex 製のテスト開発用電動クローラユニット「CuGo V3」に骨組みを設置し、カメラを搭載して圃場内を走行させ、動画を取得した。取得した動画は 1 秒ごとに静止画へ変換し、さらに手動によって多角的に撮影した動画についても同様に処理して解析に用いた。撮影期間は 2024 年 9 月 27 日から 12 月 21 日であり、概ね週 1 回の頻度で撮影を行った。対象とした病害はうどんこ病およびべと病で、これらと健全な葉を加えた 3 クラスに分類した。得られた画像データに対し、うどんこ病 2694 枚、べと病 931 枚、健全な葉 3771 枚のアノテーションをした。学習 630 枚、検証 135 枚、テスト 135 枚を用いて YOLOv5, YOLOv8, YOLOv10 による学習を行い、性能評価指標を比較した。

3. 結果と考察

結果を表 1 に示す。モデル全体の F1 スコアは YOLOv5 が 71.2%と最も高く、次いで YOLOv8 が 69.1%、YOLOv10 が 68.9%となった。クラス別にみると、健全な葉は YOLOv5 で 86.2%と高い精度を示し、安定して検出可能であった。一方、病害クラスについてはモデルごとに傾向が異なった。うどんこ病は YOLOv10 で 71.7%と最も高く、YOLOv5 の 67.6%や YOLOv8 の 69.2%を上回った。べと病は全体的に精度が低く、最高でも YOLOv5 の 59.8%にとどまった。YOLOv8 や YOLOv10 ではそれぞれ 57.2%、56.0%とさらに低下しており、誤検出や見逃しが多かったことが示唆される。べと病の精度が低下した要因としては、学習時のアノテーション枚数が少なく、モデルが特徴を十分に学習できなかったことが考えられる。また、全体的な性能を比較すると YOLOv5 が最も良好であり、小規模データセットである約 600 枚の学習画像に対して、過度なパラメータを持たない YOLOv5 の構造が適合したことが推察される。これらの結果から、病害検出においてはデータ規模や病害の特徴に応じてモデルを選択することが重要であるといえる。さらに、得られた検出結果に GPS ログを組み合わせることで圃場全体の病害分布をマップ化し、病害管理に役立てていきたい。

表 1 F1 スコア比較表

	健全	うどんこ病	べと病	全体
YOLOv5	86.2	67.6	59.8	71.2
YOLOv8	78.5	69.2	57.2	69.1
YOLOv10	78.5	71.7	56.0	68.9

引用文献

浅野裕司, 小嶋富士雄, 小島安治 (2014) カボチャ小玉種(ミニカボチャ)の立体栽培の収量と果実外観, およびカバークロップを利用した雑草管理. 愛知県農業総合試験場研究報告, 46, 2014.12.

温水処理によるアレチウリ発芽抑制の現地評価

○松永実優・川村健介・甕 美里・原 沙織・佐藤大地(帯畜大)
・安田泰輔(山梨富士山研)・内田朋宏・滝下麻耶(十勝振興局)

1. はじめに

アレチウリ(*Sicyos angulatus* L.)は、北米原産の1年生つる植物で、農作物や在来植生へ深刻な影響を及ぼすことから、外来生物法に基づく特定外来生物に指定されている(清水ら, 2001)。日本国内では各地で分布拡大が報告され、帯広市でも2022年に帯広川流域での定着が確認され、現在も拡大傾向にある。河川・水辺域では農薬使用が制限されるため、2024年からボランティアによる抜き取りが実施されているが、労力と時間の面で持続性に課題がある。本研究では、省力かつ環境負荷の小さい代替手法として注目されつつある温水除草機(林野庁関東森林管理局 2023)を活用したアレチウリの発芽抑制効果について、現地条件下で有効性を検討することを目的とした。

2. 方法

調査は、帯広市西部のアレチウリが群生する場所で2025年7月30日に実施した。アレチウリの密生域内に方形区3カ所(プロット1-3)を設置し、地上部の抜き取り後に各プロット内でケルヒャー社の温水除草機(HDS1000DeWeed)を使用して温水処理(各区画サイズは2m×2m)を行った。各処理区の温水量は、C(無し), L1(2 L/m²), L2(5 L/m²), L3(8 L/m²)とした。処理5日後(8月4日)に発芽個体数を調査した。統計解析は、発芽個体数を応答変数としたPoisson回帰を行ったが、過分散(Pearson 残差)が認められたため、一般化線形混合モデル(負の二項 GLMM, $n \sim \text{Treat} + (1|\text{Plot})$)を使用した。

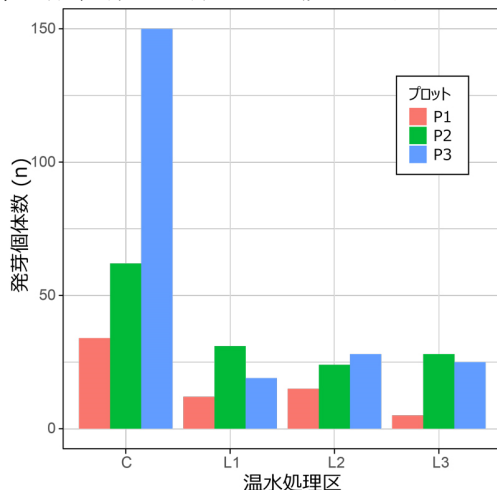


図 1. 各温水処理区における発芽個体数(n).

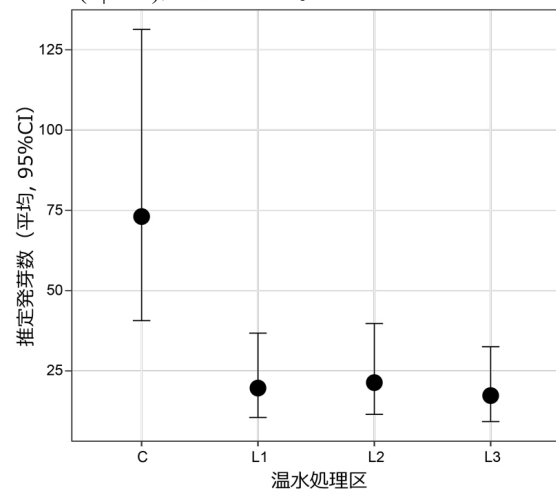


図 2. GLMM から推定した発芽数の比較.

3. 結果と考察

処理区ごとの発芽個体数(図 1)は、246(C), 62(L1), 67(L2), 58(L3)であり、プロット間で大きな違いが認められた。GLMM の結果(図 2)、温水処理はいずれの水量でも発芽個体数が有意($p < 0.001$)に低下したが、水量による差異は認められなかった。このことから少量の温水処理(L1)でも十分な抑制(約 70–76%)が期待できるが、最小有効水量の解明には至らなかった。温水処理は河川域の非化学的防除として実装可能性が高い一方で、用量反応は閾値型の可能性があるため最小有効水量の精査と季節・再発芽動態を踏まえた追跡評価が今後の課題である。

謝辞 本研究の遂行にあたり、佐藤雅俊先生(帯広畜産大学)ならびに帯広市環境課、帯広市みどりの課、帯広の森づくり協議会、畜大ボランティア団体「とことこあるこう」、佐々木畜産(株)の皆様にご助言とご支援を賜り、深く感謝申し上げます。

引用文献

清水矩宏, 森田弘彦, 廣田伸七 (2001) 日本帰化植物写真図鑑—Plant invader 600 種—. 全国農村教育協会, p. 554.
林野庁関東森林管理局 日光森林管理署 (2023)「高圧洗浄機を活用した温水除草システムの検証」技術交流発表会資料 [20230331-92.pdf](#)

深層学習を利用した農地周辺におけるオオブタクサおよびアレチウリの 自動検出モデルの開発と分布マップの作成

○滝沢佳大・渡邊 修(信州大農)・安田泰輔(山梨富士山研)

1. はじめに

外来雑草の地域への侵入は、生態系や農業生産に悪影響を与える。特に、高い環境適応性を持つ外来雑草が一度定着すると周囲に分布を拡大し、根絶は困難となる。外来雑草の分布拡大を防ぐためには、定期的なモニタリングを行うことで侵入初期に発見し、定着を未然に防ぐことが重要である。このため、外来雑草の広域での効率的な分布情報取得方法の開発が求められる。本研究では深層学習を利用した高精度な外来雑草自動検出モデルの開発と効率的な分布マップの作成を目的とした。また、取得した外来雑草の分布情報と土地利用の関係について分析した。

2. 方法

調査対象は、長野県で広く見られる北アメリカ原産のオオブタクサとアレチウリとした。調査は 2024 年 7 月 19 日から 8 月 24 日に長野県上伊那地域の 20 km² のエリアで行った。位置情報付き画像は、アクションカメラ「RX0II(SONY 社)」を自転車のハンドル部分の左側に固定し、移動中に自動撮影により取得した。深層学習モデルは YOLOv8x(Ultralytics 社)の物体検出と画像分類の 2 手法により、2 種類の外来雑草自動検出モデルを作成し、精度評価を行った。YOLOv8x では学習の際に画像が圧縮されるため、精度低下の要因となっていた。そこで、画像分類モデルでは高解像度を維持するために 1 枚の画像(4272 × 3200 px)を 9 分割し、精度向上を図った。物体検出モデルの精度評価では、対象雑草の有無の判定を評価基準とし、バウンディングボックスの位置や検出数については考慮しなかった。作成した 2 つのモデルを利用して、各画像内のアレチウリとオオブタクサを検出した。画像に付与された位置情報をもとに両種の調査エリア内における分布をマップ化した。地図上にプロットされた位置情報から 250 m メッシュマップを作成し、各メッシュ内の対象雑草の出現頻度を可視化した。

3. 結果と考察

作成したモデルの精度を評価した結果、アレチウリの物体検出モデルは適合率(Precision)83%、再現率(Recall)95%となり、オオブタクサの物体検出モデルでは適合率(Precision)83%、再現率(Recall)93%となった。アレチウリの画像分類モデルでは適合率(Precision)92%、再現率(Recall)93%となり、オオブタクサの画像分類モデルでは適合率(Precision)88%、再現率(Recall)88%となった。この結果から、物体検出モデルは誤検出が多いが検出漏れが少なく、画像分類モデルは誤検出と検出漏れの少なさのバランスが優れたモデルであることが示唆された。作成したメッシュマップでは、全 394 区画中アレチウリは 111 区画、オオブタクサは 236 区画で検出された。これにより、オオブタクサはアレチウリよりも広範囲に分布していることが確認された。また、対象雑草の検出地点周辺の土地利用を調査した結果、両種ともに畑地と草地の周辺で多く検出されたことが判明した。畑地や草地周辺は外来雑草の重点的な監視・防除を行うべき地域であると考えられる。今後は作成した外来雑草分布情報と気候条件や土地利用との関係について機械学習を利用した解析を行う予定である。

深層学習を用いた大豆の莢形状と子実の自動抽出の検討

○井上大輔(福島大院食農)・牧 雅康(福島大食農)

1. はじめに

現在、福島大学食農学類付属発酵醸造研究所では、ゲノムワイド関連解析 (GWAS: Genome-Wide Association Study) のために大豆の育種を行っており、その為の形質測定は大豆の品種ごとの莢数や葉の形状、草丈 等様々な項目について効率良く測定する方法が求められる。ゲノムワイド関連解析とは、多くの個体における表現型と遺伝子型の関係を統計的に調べる手法であり、特定の形質に影響を与える遺伝子や遺伝子領域を発見することを可能とする手法である。従来の形質測定は手作業で行っており、この作業は非常に労力と時間がかかる。さらに、作業を行う人によって異なる結果になる可能性がある。このような理由から、この形質測定作業は、客観的な省力化が求められている。このことから、本研究では、画像処理における深層学習の一種であるインスタンスセグメンテーションと群衆カウントを用いて、大豆の莢と子実の自動抽出について検討した。

2. 方法

本研究では、福島県農業総合センターで栽培されたユキホマレ、里のほほえみ、金成 1 号、あやこがね、スズユタカ、白蔬太、クロゴヨウを対象とした。これらは iPhone13promax のデジタルカメラ機能を使用して撮影した。撮影日は 2022 年 9 月、11 月、2024 年 10 月 23 日である。深層学習モデルとして、インスタンスセグメンテーションには YOLO12 (Tian 2025)、群衆カウントには P2PNet-Soy (Zhao *et al.* 2023) を使用した。YOLO12 は 2022 年と 2024 年の画像で一から学習させ、P2PNet-Soy は事前学習済みモデルを用いた転移学習により、モデルの安定化のために 2024 年の画像のみで学習を行った。YOLO12 では、データセットを学習用 91 枚、検証用 24 枚の 8:2 の比率で分割し、検証データを利用して再現率と適合率を評価指標として精度評価を行った。一方、P2PNet-Soy では学習用 49 枚、検証用 13 枚でデータを分割し、評価指標には MAE (平均絶対誤差) と R^2 (決定係数) を用いた。最終的に、これら 2 つのモデルを組み合わせることで、より正確な子実数のカウントを目指した。具体的には、YOLO12 で生成されるマスク領域内に P2PNet-Soy の検出結果がある場合は正解として扱い、マスク外での検出は莢外検出として抑制することで、精度向上を図った (図 1)。

3. 結果と考察

YOLO12 の性能評価において、適合率 0.696、再現率 0.731 という結果を得た。莢が前面にある場合でもある程度の検出が可能である点は良好であったが、全体的な精度はさらなる向上が望まれる。特に、莢が密集している部分での検出精度の低下や緑色の莢の検出不良が課題として挙げられた。これらの問題は、データセット枚数の不足と事前学習済みモデルを使用していないことが主な要因と考えられ、今後の学習方法の改善が必要である。一方、P2PNet-Soy は MAE15.54、決定係数 0.76 という結果となり、まずまずの精度を示した。しかし、子実が入っていない部分への誤検出が見られるため、さらなる改良が求められる。YOLO12 と P2PNet-Soy の組み合わせ手法では、P2PNet-Soy による葉や茎への誤検出の抑制効果が確認された。一方で、この手法は YOLO12 の性能に依存するため、YOLO12 の精度が低い場合には組み合わせ全体の性能に影響を与える課題が明らかになった。また、両モデルを組み合わせた場合の総合的な精度評価方法の確立が今後の重要な課題である。

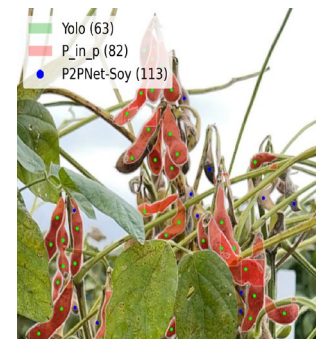


図 1. YOLO12 と P2PNet-Soy の組み合わせ. 緑: YOLO12 のみ, 赤: YOLO12 + P2PNet 一致, 青点: P2PNet 検出点.

引用文献

- Tian, Y. (2025) YOLOv12: Attention-centric real-time object detectors. In: <https://arxiv.org/abs/2502.12524>, arXiv.org, Cornell University, Ithaca.
- Zhao, J. *et al.*, (2023) Improved field-based soybean seed counting and localization with feature level considered. *Plant Phenomics*, 5, 0026.

時系列衛星画像とフェノロジー情報を活用した北海道農地の作付け分類

○ 畠田将貴・大吉慶(宇宙航空研究開発機構)

1. はじめに

衛星画像解析は広域を迅速に分析することが可能であり、農業への作付け状況や農地利用を把握するための作付け図に用いられてきた。JAXA の高解像度土地利用土地被覆図では、時系列情報や光学指標などの情報を機械学習で分析することで、日本全国の水田分布を明らかにしている(平山ら, 2022)。また、帯広市・芽室町周辺を対象に甜菜・馬鈴薯・秋まき小麦・小豆・大豆・その他作物を分類した研究も実施されている(鈴木ら, 2015)。しかしながら日本においてコメを含む 10 種類以上の畑作物の作付け図作成を複数自治体にまたがる広域で実施した事例はほとんどない。よって、本研究では北海道の農地を対象として、時系列衛星画像とフェノロジー情報を活用し、多種・広域の作付け図作成を可能とする手法開発を行った。

2. 方法

本研究では、石狩・空知・上川・オホーツク・釧路・根室・十勝地域を解析の対象とした。Google Street View を参照し、コメ・とうもろこし・大豆・小麦・馬鈴薯・玉ねぎ・甜菜・牧草地・蕎麦・長芋・人参の 11 種類のリファレンスデータを作成した Sentinel-2 と Landsat-8/9 衛星をフェノロジー情報の分析に利用した。近赤外バンドと緑色バンドの比率で定義される光学指標の時系列データに基づいて作物フェノロジーパラメタライズした。また地形情報、日夜の地表面温度、Sentinel-1 SAR 衛星の後方散乱係数を追加特徴量とした。作物カテゴリを目的変数、フェノロジー情報と追加データの特徴量として、Random Forest モデルを学習した。対象領域全体に学習させたモデルを適用し、2023 年時点の多種の作付け図を 30 m 空間解像度で作成した。また、ピクセル単位の作付け図を圃場ポリゴンと組み合わせることで、ノイズ低減を行った。コメ・大豆・蕎麦・甜菜・小麦・人参・馬鈴薯・玉ねぎについては作付け面積の統計値が公開されているため、市町村単位での作付け面積の合計値を比較し、衛星から得られた作付け図の妥当性を評価した。

3. 結果と考察

本研究の結果、テストデータによる評価では、11 種類の作物分類を全体精度 0.706 で達成することができた。図 1 に作成した作付け図を示す。また、市町村単位 ($n = 91$) での作付け面積の統計値との比較結果について、表 1 に示すように、にんじんを除いて R 二乗値が 0.8 を越えるよい一致を得た。作物の植え付けや成長の差異は異なる作物を分離する上で有用であり、機械学習手法と組み合わせることで、広域・多種の作付け図を日本の農地環境でも衛星画像解析から作成できる可能性が示された。

引用文献

平山 颯太, 田殿 武雄, 大木 真人, 水上 陽誠, 奈佐原(西田) 顕郎, 今村 功一, 平出 尚義, 大串 文美, 道津 正徳, 山之口 勤 (2022) JAXA 高解像度土地利用土地被覆図日本域 21.11 版 (HRLULC-Japan v21.11) の作成. 日本リモートセンシング学会誌, 42(3), 199–216.

鈴木 研二, 武内 智 (2015) 多時期 RapidEye 衛星画像データを用いた畑地作目の分類. システム農学, 31(1), 1–10.

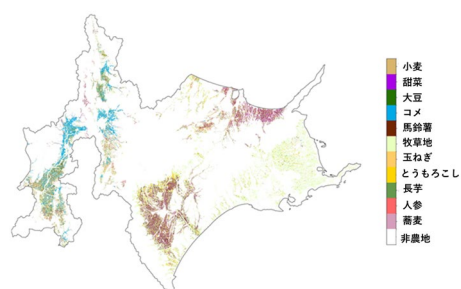


図 1. 衛星データと機械学習モデルによって作成した北海道主要農業地帯の 2023 年時点作付け図。

表 1 リモートセンシングデータから作成した作付け面積と作付け統計の一致度指標

作物名	コメ	大豆	蕎麦	甜菜	小麦	人参	馬鈴薯	玉ねぎ
R 二乗値	0.97	0.89	0.89	0.94	0.95	0.47	0.89	0.89

UAV マルチスペクトル画像を用いた大麦の品質推定モデルの作成

○三尾建斗(信州大院農)・渡邊 修(信大農)

1. はじめに

大麦(*Hordeum vulgare*)は飼料、醸造用に加え、日本では古くから食用としても重要な穀物である。その品質評価は多くの指標があるが、従来の管理手法は労力と時間を要する。一方、近年水田や畑作地において、リモートセンシング技術を用いた作物の収量の推定に関する研究が多く行われてきた。しかし、それらの対象作物は主に米や小麦といった主要穀物であり、大麦、特に穀粒品質を対象とした研究は見られない。そこで本研究ではマルチスペクトルカメラを搭載した UAV(無人航空機)を用いて、圃場段階で食用の大麦の品質を非破壊で推定する予測モデルの構築を目的とした。

2. 方法

長野県上伊那郡宮田村の 8 つの大豆・大麦二毛作圃場(25 m × 90 m)において、2024 年の 4 月から 6 月にかけて UAV マルチスペクトルカメラ(DJI Mavic 3M)で圃場画像を高度 100m から定期的に撮影した。これらの画像をオルソモザイク処理後、5.0 m × 5.0 m のグリッドで植生指数(NDVI, NDRE, GNDVI, CVI)を算出した。6 月上旬の成熟期に大麦穂をサンプリングし(n = 46)、幅、長さ、厚さ、千粒重、硝子率、水分率を測定した。これらのデータから以下の 2 つのモデルを構築した。

①大麦粒の各品質の予測モデル:各撮影日の植生指数、相対成長率、および積算値を説明変数とし、大麦の各品質項目を目的変数とする予測モデルを構築した。品質は圃場内変動よりも圃場間変動が大きいために示唆されたため、圃場差をランダム効果、植生指数を固定効果とする一般化線形混合モデル(GLMM)を用いた。

②大麦粒の生育を推定する機械学習モデル:品質データを用いて主成分分析および *k-mean* 法を用いて 3 つのクラスターに分類し、「良好」、「やや良好」、「不良」にラベル化した。さらにサンプリング地点周辺の品質は均一であると仮定し、森下ら(2020)の研究を参考にデータ拡張を行い(n = 5309)、拡張データを学習用と検証用データに 8:2 で分割した。Random Forest, SVM, XGBoost の予測精度を 5-fold Cross-Validation で比較した。また、学習曲線により過学習の有無も確認した。

3. 結果と考察

GLMM による品質予測では、千粒重、粒の幅、長さにおいて、いずれの撮影日の植生指数を用いても高い推定精度($R^2=0.60\sim0.80$)が得られた。圃場差を考慮しない単回帰分析($R^2=0.20\sim0.40$)と比較して、圃場間変動をモデルに組み込むことの有効性が示された。一方、硝子率や水分率の推定精度は低く、これらの品質が植生指数に反映されるバイオマス量だけに影響されない(土壌の栄養状態など)事が示唆された。大麦の生育状況を 3 段階で判定する機械学習モデルでは、Random Forest が最も高い精度を示し(Accuracy: 0.903, F1-score: 0.902)、学習曲線から過学習の傾向も認められなかった(図 1)。今後は硝子率など精度が低かった品質項目について、植生指数以外の要因(土壌組成や雑草の繁茂状況など)を測定し、年次変動や環境要因を補正するモデルの構築を目指す。

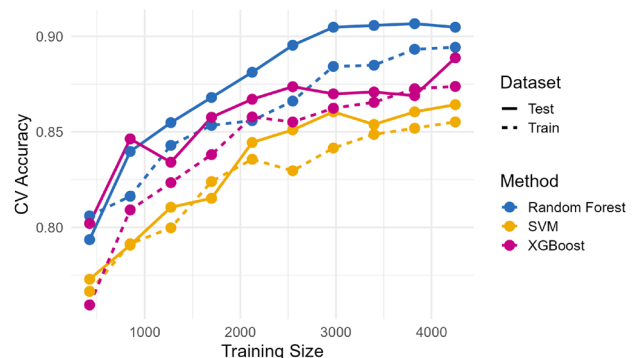


図 1. ②の品質予測モデルの学習曲線。

点線は学習用データ、実線は検証用データの Accuracy の結果を指す

引用文献

森下瑞貴, 石塚直樹 (2020) UAV 観測によるダイズ圃場の土壌含水率分布推定—グラウンドトゥールスデータの拡張による機械学習の適用—. システム農学, 36, 55–61.

UAV 空撮画像と機械学習を用いた水田後期ヒエ類発生推定の試み

○佐々木 航・渡邊 修・叶 戎玲(信州大農)

1. はじめに

水田雑草の管理は水稻生産における重要な課題であり、特にヒエ類は生育後期においても繁茂し、収量や品質を著しく低下させる大きな要因となる。さらに、ヒエ類はシードバンクを介して翌年以降の発生動態にも影響を及ぼすため、発生状況を正確に把握することは、防除策の立案に直結する。しかし、従来の雑草の達観調査は、観測者の経験や主観に依存し、労力と時間を要するため、省力的かつ客観的に雑草発生を把握できる技術の確立が求められている。近年、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) は農業分野で活用され、雑草発生モニタリングへの応用も期待される。そこで本研究では、UAV を用いた機械学習により、水田における後期ヒエ類の発生状況の推定を試みた。

2. 方法

長野県伊那市の計 291 枚の水田圃場において UAV (Mavic 3 Multispectral, DJI 社) を用い、8 月に週 1 回の頻度で、計 4 回の空撮を行った。雑草発生状況は 8 月 20 日に実施した達観調査により評価した。調査対象とした雑草は、圃場内で水稻よりも草高が高く、目視によって確認可能なヒエ類である。雑草の発生状況は 4 段階に区分し、ヒエ類が確認されなかった場合を「雑草なし」としてクラス 0、確認された場合を「雑草あり」とし、被度 $\leq 25\%$ をクラス 1、被度 $\leq 50\%$ をクラス 2、被度 $> 50\%$ をクラス 3 と定義した。マルチスペクトル画像から植生指数 (NDVI, GNDVI, NDRE) を圃場ごとに算出し、各指数について、8 月の時系列データから最大値、範囲、標準偏差を特徴量として抽出し、これらを説明変数、雑草発生状況のクラスを目的変数とした。得られたデータをもとに、Random Forest (RF)、Extreme Gradient Boosting (XGBoost)、Support Vector Machine (SVM)、ロジスティック回帰を用いて分類モデルを試作した。モデルの評価は精度に加え、正則化の効果の検証や、偽陰性・偽陽性に関するエラー分析を実施し、さらに各モデルにおいて重要な特徴量を抽出した。また、過学習を抑制するためにハイパーパラメータの調整を実施した。

3. 結果と考察

クラス 0~3 の 4 分類を試みたが、モデルの精度は十分には得られなかった。特にクラス 1~3 については、それぞれのサンプル数が 58, 37, 28 枚と少なく、学習に必要な十分なデータ量を確保できなかったことが主な要因と考えられる。そこで、本研究ではクラス 1~3 を統合して「雑草あり」と定義し、クラス 0 の「雑草なし」と合わせた 2 クラス分類を実施した。2 クラス分類において最適なモデルはランダムフォレストであり、「雑草なし」の精度は、precision:0.72, recall:0.78, F1 スコア:0.75、「雑草あり」の精度は、precision:0.67, recall:0.59, F1 スコア:0.63 であり、全体の正解率は 0.70 であった。他のモデルでは誤判定が多すぎるなどの極端な性能を示したのに対し、ランダムフォレストは両クラスに対して比較的バランスの取れた予測を示した。重要な特徴量として、8 月 20 日の NDVI 最大値、8 月 14 日の NDVI 標準偏差、8 月 20 日の GNDVI 最大値が抽出された。水田圃場全体の植生指数は稲の登熟に伴い低下する一方で、ヒエ類は依然として青々とした状態を維持していた。そのため、雑草発生状況が深刻な圃場では生育後期における植生指数の最大値が高くなり、これらの指標が重要な特徴量として選択されたと考えられる。一方で、8 月 14 日の NDVI の標準偏差は、「雑草なし」クラスが「雑草あり」クラスよりも有意に大きい値を示した ($p < 0.001$)。予想された「雑草混在による植生指数のばらつきが増加」とは逆の結果が得られた。これは、雑草あり圃場ではヒエ類が水稻とともに生育することで被度が均質化し、空間的ばらつきが抑えられた可能性が示唆される。したがって、植生指数の標準偏差は単純な雑草量の指標ではなく、水稻と雑草の相互作用を反映した総合的な特徴量である。本モデルの課題は、「雑草あり」クラスの recall が 59% に留まった点である。エラー分析の結果、実際にはクラス 1 に属するサンプルが「雑草なし」と誤判定される傾向が強く示された。今後クラス 1 のサンプルを増やすことで、判別境界を学習し、精度向上が期待できる。本手法の応用例として、収穫時にヒエ類による汚染を防ぐために雑草の少ない圃場から優先的に刈り取る、あるいは次年度の栽培計画で重点的に防除する対象を抽出することが考えられる。

更に本研究の先行研究により、雑草発生状況は UAV を用いた水稻の収量予測にも影響しており(未発表)、本研究で示したような雑草発生推定モデルへの展開により、単一の UAV による多面的な情報収集と解析が期待される。これにより、持続的な水稻生産への貢献を目指す。

低高度 UAV 画像と深層学習を用いた大豆圃場における

難防除雑草の自動検出法の検討

○加藤遼大(信州大院農)・渡邊 修(信州大農)

1. はじめに

大豆圃場における雑草の空間分布と発生時期の把握は収量安定化のために重要である。従来の目視による雑草発生調査は労力が大きく、圃場内での見落としや面的情報の取得に課題がある。近年は UAV (Unmanned Aerial Vehicle) の普及により、低高度からの高解像度画像を利用した雑草調査が現実的となっている。UAV による高度 3~5 m での垂直撮影は小型雑草の出芽初期を捉えやすく、草種判別に有効である。雑草は子葉から本葉へと外観が大きく変化するため、生育ステージを考慮した学習モデルの構築は雑草判別精度の向上に直結する。本研究では、低高度 UAV 画像を分割して解像度を保持したまま深層学習 (YOLOv8) に適用し、圃場内の難防除雑草を自動検出・可視化する手法を検討した。

2. 方法

長野県宮田村の大豆圃場 20 区を対象に、UAV (DJI Mavic 3 Pro) で高度 3~5 m のシングルショット垂直撮影を実施した。撮影画像 (5280 × 2970 px) は、学習時のリサイズで解像度低下が生じ得るため、解像度を保持する目的で 8 × 5 のタイル分割を行った。対象種はホソアオゲイトウ、帰化アサガオ類、オオオナモミ、イチビ、オオイヌタデの 5 種とし、個体ごとに S1: 子葉期, S2: 初期本葉 (1~2 枚), S3: 中期本葉 (3~4 枚), S4: 後期 (5 枚以上) に区分してラベリングした。ステージ区分により外観変化を学習に反映し、初期段階の検出感度向上と誤検出抑制を図った。学習には YOLOv8 (-x) を用い、ステージ込みの条件でモデルを作成・比較した。推論はタイル単位で実行し、検出結果を分布マップとして可視化した。

3. 結果と考察

推論の結果、圃場の周縁部や条間に雑草が集中して分布していた。帰化アサガオ類は全ステージで高精度 (mAP50 は約 0.85) を示し、オオオナモミは S1~S4 で mAP50 は約 0.89 の値を示した。一方、ホソアオゲイトウやイチビの S1~S3 段階はモデルの精度が mAP50 は約 0.70 と低く、誤検出が生じやすいため、追加データ収集や前処理改善が必要であった。生育ステージを含めた学習は「種類のみ」に比べ誤検出を減らし、除草すべきエリアの特定に有用であった。以上より、低高度 UAV 画像を分割し解像度を維持した学習は、発生草種を高い精度で検出でき、発生場所をマップで確認できることから、効率的な雑草管理に有用であると考えられた。

Sentinel-2 衛星画像を用いた外来樹種ニワウルシの検出

○青木実伶・馬 籠純(山梨大)・安田泰輔(山梨富士山研)

1. はじめに

外来植物は在来種との競合や駆逐など生物多様性に大きな影響を及ぼす。そのため侵入状況の把握は防除に重要な情報である。重点対策外来種ニワウルシ(*Ailanthus altissima*)は在来種との競合による生態系の改変が懸念されており、種子による拡散力が高く、樹高10m以上となることから、早期発見と迅速な防除が求められる。このニワウルシは甲府盆地を中心に山梨県全域でも侵入が確認されている外来樹木である。しかし従来の地上観測だけでは広範囲を調査することは難しく、リモートセンシングによる観測が期待される。本研究では Sentinel-2 人工衛星画像と Random Forest を用いて、ニワウルシの侵入状況を把握する手法を検討した。

2. 方法

山梨県全域を対象地域として設定した。ニワウルシは、中国原産の落葉広葉樹であり、成長の速さと種子の拡散、侵入を促進するアレロパシー物質の生成が特徴として挙げられる。衛星データは、可視/近赤外および短波赤外域を観測する Sentinel-2 から 2021 年 1 月から 12 月の期間のものを使用した。

教師データは 2021 年に車載カメラで山梨県全域を調査した画像を使用した。ニワウルシが写っている画像を抽出し、撮影点の位置データを付与した。ニワウルシのポイントは 690 点であった。同時にニワウルシ以外の植物のポイントからランダムにニワウルシがあったポイントと同数(690 点)をサンプリングし、学習に使用した。

応答変数にニワウルシかどうかの二値を、説明変数にバンド値から算出される指数を用いて Random Forest による分類モデルを構築した。本研究では車載カメラの影響から対象植物の位置情報が道路上を示している。そのため撮影地点を中心として縦横 5 ピクセルを含んだ範囲の植生指標 NDVI、水分指数 NDWI、干ばつ指数 NMDI の平均値を用いた。そしてどのスペクトル指標がニワウルシの検出に優位に働くかを検討した。

3. 結果と考察

図 1 のとおり、すべてのスペクトル指標において単時期よりも多時期を使用したとき正解率は高く、0.8 を超えていた。指標別にみると NMDI の正解率が最も高かった。このことはニワウルシがかく乱地に侵入する傾向があることから、ニワウルシの NMDI に加え、生育地の NMDI も分類結果に影響を及ぼしたと考えられた。

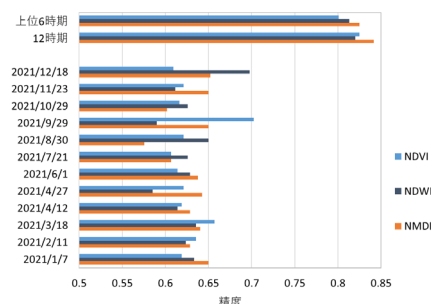


図 1. 指標別全体精度.

植生指数による緑肥用ソルガムの窒素吸収量の推定と施肥マップの作成

○渡邊 修(信州大農)・小池美星(信州大院農)・矢口直輝(長野野菜花き試)・

叶 戒玲(信州大農)

1. はじめに

農地では作物生産を安定化させ収量を確保するため、有機物を利用した土作りが行われており、緑肥作物はその場にすき込むため、栽培にかかるエネルギー投入量の削減に有用である。ソルガム(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)は夏型の長大作物で品種の多様性が高く、多くは飼料用として栽培され、緑肥用品種は他の緑肥に比べて生育が早く、有機物生産量が多い特徴をもつ。ソルガムの C/N 比は 15~50 程度で、生育ステージによる変動が大きく、生育期間が長いほど C/N 比が高くなる(農研機構, 2020)。長野県などの寒冷地では、ソルガムは 5 月下旬から 6 月上旬に播種し、7 月中下旬にすき込むことが行われており、後作の肥料として活用するには、草丈 150 cm(C/N = 20 程度)ですき込むことが推奨されている。ソルガムは土壌肥沃度が低いところでは生育不良となることがあり、後作の施肥を一律に実施すると、肥料の過不足が生じる。本研究では、UAV センシングで取得した植生指数からソルガムの窒素吸収量の推定を高精度に行うモデルを検討する。また、緑肥の生育状態に応じた施肥を行うため、クラウド環境で可変施肥マップを作成するアプリの検討を行った。

2. 調査地・方法

長野県野菜花き試験場(長野県塩尻市)の圃場において、2023 年と 2024 年に高可給態窒素区(窒素施肥量 0, 5, 10kg/10a)と低可給態窒素区(窒素施肥量 0, 5 kg/10a)の 6 水準の試験区を設けた。緑肥用ソルガムを 5 月下旬に播種し、7 月下旬にすき込みを行った。緑肥用ソルガムの草高が約 50, 100, 150 cm に達した各ステージで、群落高・乾物重・窒素含有率を計測した。各ステージの計測直前に UAV (Mavic 3 Multispectral)を高度 15 m で飛行させ、フロントとサイドのオーバーラップが 80% の画像を取得した。空撮画像のオルソ化は Pix4dMapper を用い、M3M に対応した反射板(Quantometrics 製)を用いて反射率に変換し、植生指数(NDVI, GNDVI)を取得した。植生指数からソルガムの群落高と窒素吸収量を推定する回帰分析を行った。塩尻市の一般農家圃場(17.8 a)を対象に、緑肥用ソルガムを播種し、ソルガムの生育状態に応じた 2m グリッドの可変施肥マップの作成を試みた。可変施肥マップは 2 m × 2 m グリッドで出力し、後作のレタス栽培は基肥窒素量が 8kg/10a を基準とした。また、ソルガムの葉身窒素量の約 30% をレタスが吸収可能な窒素量(肥効率)として可変施肥量を計算した。簡易マップの作成は Python ver. 3.12 の環境で streamlit.io/cloud で動作するものを作成した。

3. 結果と考察

長野県野菜花き試験場で実施した調査の結果、低可給態窒素区のソルガムの群落高は 56~73 cm、高可給態窒素区では 141~148 cm を示した。植生指数と平均群落高の関係を調べた結果、植生指数 GNDVI から群落高を推定する非線形回帰(Exponential)モデルが得られた($R^2 = 0.881$)。また、GNDVI からソルガムの窒素吸収量(kg/10a)を推定する非線形回帰(シグモイド)モデルが得られた($R^2 = 0.888$)。これらの結果から緑肥用ソルガムの群落高および窒素吸収量をドローン空撮の植生指数から推定できることが示された。

一般農家圃場(17.8 a)におけるソルガムの植生指数を 2 m グリッド 335 個(13.84 a)で集計した結果、GNDVI 値は 0.42~0.78、推定群落高は 34~134 cm を示した。ソルガムの群落高が 75 cm 以下(目標草高 150 cm の半分)のグリッド数が 26 個あり、圃場の約 7.8% で生育不良が確認された。慣行栽培では窒素 8 kg/10a(全体で 10.78 kg)の施用を行うが、可変施肥では全体で 5.17 kg(43%)の投入量で栽培可能であることが示された。

(本研究は生研支援センター「戦略的スマート農業技術の開発・改良」の支援を受けて行った。)

引用文献

農研機構 (2020) 緑肥利用マニュアル ―土づくりと減肥を目指して―。

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/134374.html

宮城県石巻市における竹林管理および竹材・たけのこ生産の実態

○成澤朋紀・米澤千夏(東北大院農)

1. はじめに

竹林は管理が不十分になると周辺に拡大する性質を持ち、日本各地で管理不足による拡大が課題となっている。管理不足に至る要因のひとつとして、竹材・たけのこ需要低下に伴う、生産に利用されない竹林の増加が指摘されている(林野庁, 2018)。宮城県石巻市は県内有数の竹材・たけのこ生産地であるが(宮城県水産林政部林業振興課, 2025), 東日本大震災をきっかけとして、管理不足に伴う竹林拡大が懸念されている(近江, 2019; 成澤・米澤, 2023)。適切な竹林管理のためには、竹林拡大の状況把握をおこなうとともに、竹林管理と竹材・たけのこ生産をとりまく実態の把握が重要となる。

2. 方法

本研究ではまず、人工衛星画像を用いた竹林拡大の調査をおこなった。2013 年 3 月 15 日および 2017 年 3 月 19 日の RapidEye 衛星画像を取得し、サポートベクターマシン(SVM)を用いて分類をおこなった。分類項目は、タケ、針葉樹、広葉樹、水域、その他の 5 項目とした。2013 年と 2017 年の分類結果を比較し、竹林拡大状況について確認した。

竹林管理とたけのこ・竹材生産をとりまく実態の把握のため、2025 年 9 月 9 日に石巻市農林課に対するヒアリング調査をおこなった。石巻市の竹林管理およびたけのこ・竹材生産について、現状や課題、市としておこなっている政策・取り組み等について情報を得た。

3. 結果と考察

人工衛星画像を用いて分類をおこなった結果、2013 年の画像の全体精度は 97.6%, タケのユーザー精度は 100%, タケのプロデューサー精度は 100%となった。2017 年の画像の全体精度は 96.2%, タケのユーザー精度は 100%, タケのプロデューサー精度は 95%となった。2013 年と 2017 年の分類結果を比較したところ、これまでで竹林拡大を確認している北上地区(成澤・米澤, 2023)に加えて、新たに桃生地区でも竹林の拡大を確認した。桃生地区は津波被害を受けていない地域であるが、伐採跡地で竹林が拡大していることがわかった。

石巻市農林課によると、市としては竹林管理やたけのこ・竹材生産に関する政策や取り組みはおこなっていないとのことだった。森林整備等の優先する必要がある他業務との兼ね合いから、竹林管理や竹材・たけのこ生産に関する取り組みまでおこなうのは難しいのが現状であることが明らかになった。津波被災地では、避難により管理者が土地を離れたことの影響が、竹林荒廃の要因の一つであることが示された。伐採跡地での竹林拡大に関して、管理コストやシカの食害、補助金の補助率や申請における事務負担の問題等により、伐採後の再造林が進まず、管理されていない伐採跡地が多くなっていることが背景としてあると示唆された。

謝辞

本研究は、令和 6 年度翠生農学研究助成の支援を受けたものである。使用した衛星画像は、Planet Labs PBC より提供された。ヒアリング調査にご協力いただいた石巻市農林課の皆様に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 宮城県水産林政部林業振興課 (2025) みやぎの森林・林業のすがた(令和 6 年度版). 宮城県水産林政部, 宮城.
- 近江吉明 (2019) 石巻市域復興を「森里川海の連携」思想から展望する— 歴史学の視点からのアプローチ —. 社会科学年報, 53, 53–70.
- 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, 38(4), 59–66.
- 林野庁 (2018) 「竹の利活用推進に向けて」報告書, *In*: <https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take-riyou/>, 林野庁, 東京(参照 2025 年 9 月 25 日).

高分解能衛星画像による大崎耕土の屋敷林(居久根)の 2017年から2025年にかけての保全状況の評価 ○米澤千夏・成澤朋紀・堀越翔空・佐々木美月(東北大院農)

1. はじめに

大崎耕土は宮城県北部の1市4町にまたがる水田農業地帯であり、2017年に世界農業遺産に認定された。大崎耕土では、家屋を取り囲むように「居久根(いぐね)」と呼ばれる多様な樹種からなる屋敷林が植栽されている。居久根は防風、防雪、生物多様性の保全など住民にとって多くの役割を果たし、独特の景観を形成している。大崎耕土には20,000軒以上の家屋に居久根があるとされているが、住民の高齢化とともにその管理が地域の課題となっている(三宅, 2024)。大崎耕土の農地は362 km²とされており、広域での居久根の管理には人工衛星によるリモートセンシングデータの活用が望まれる。ここでは、高分解能衛星画像の解析による居久根の保全状況の評価を試みた。

2. 方法

対象地域は、大崎市古川地域の一部とした。2017年5月20日にWorldView-2衛星、2025年5月19日にWorldView Legion-2衛星で観測されたマルチスペクトル画像を解析した。それぞれ、コースタルブルーから近赤外にかけての8バンドを有する。画像解像度はWorldView-2衛星画像は2 m/pixel、Legion衛星は1.2 m/pixelであった。全てのバンドを用い、サポートベクターマシン(SVM)によって森林、農地、草地、その他の4カテゴリに分類した。ArcGISProを用い、各クラスごとに学習用ポイントデータを500点、テスト用ポイントデータを100点設定した。

3. 結果と考察

分類の全体精度は、WorldView-2で90.5%、WorldView Legion-2衛星で83.5%であった。目視で分類結果となる画像を確認したところ、多くの居久根が森林として抽出されていた。ただし、誤分類もみられた。

2017年と2025年の分類結果を比較したところ、2017年には森林に分類されていた居久根の一部が2025年にはその他に変化している場所があった(図1)。分類前の元画像を確認したところ、伐採され、太陽光パネルが設置されていた。分類結果の比較から森林から草地に変化している箇所もあり、元画像より伐採が確認された。ただし、伐採は居久根管理の一環の可能性もある。このように分類画像は居久根の有無の判別に有効であるが、誤分類の可能性もあることから、保全状況の評価のためには分類前の画像を確認する必要がある。

4. おわりに

居久根は私有財であることから、地域としての保全活動での合意形成の困難さが指摘されている。リモートセンシング画像は経年変化をわかりやすく可視化できるため、地域での議論を進めるための手段の一つとなりうる。今後の課題の一つに居久根を構成する樹種の分類と明示が挙げられる。

謝辞

本研究はJSPS科研費24K08965の助成を受けた。大崎市産業経済部世界農業遺産未来戦略室より資料提供をいただいた。

引用文献

三宅源行(2024)世界農業遺産「大崎耕土」の取り組みについて. 農村計画学会誌, 43(1), 41–43.

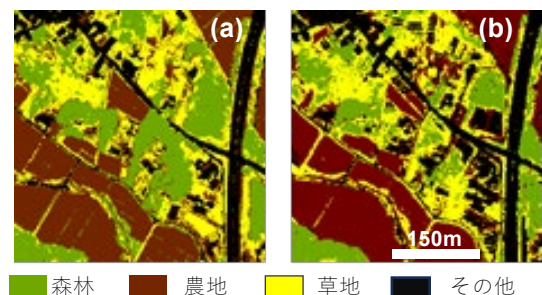


図1. 高分解能衛星画像の分類結果. (a) 2017年5月20日(WorldView-2), (b) 2025年5月19日(WorldView Legion-2).

エチオピア・ティグライ州の内戦時における農地・森林への影響

○酒井 徹(国際農研)・Emiru Birhane・Emnet Negash(メケレ大)

1. はじめに

エチオピア北部のティグライ州で発生した内戦(2021–2022)は、エチオピア連邦政府とティグライ人民解放戦線との間で勃発した大規模な武力衝突であり、同国北部を中心に深刻な人道危機をもたらした。紛争は通信遮断や物流封鎖のもとで展開され、国際的な監視や人道支援が著しく制限された結果、数十万人におよぶ死者と数百万人規模の避難民が発生したと報告されている。戦闘は主として農村部で行われ、農地は砲撃や略奪によって荒廃し、播種や収穫といった営農活動は中断された。また、多くの家畜が失われたことにより、ティグライ州の基幹産業である農業は甚大な打撃を受け、食料生産量は急減、飢饉に近い状況が広がった。さらに、戦時下では燃料不足とエネルギー需要の高まりを背景に森林伐採が加速し、軍事行動の展開域や避難民キャンプ周辺では過剰伐採が進行した結果、森林面積の大幅な減少が生じた。こうした土地利用変化は土壌侵食や生態系サービスの低下を引き起こし、戦後復興における環境課題を一層複雑なものとしている。

本研究は、紛争下のティグライ州における農地および森林への影響を定量的に明らかにすることを目的とし、VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) の夜間光データを用いて経済活動の変動を把握するとともに、光学センサによる植生指数(NDVI)の解析により農地生産性および森林伐採の影響を評価した。

2. 方法

研究対象はエチオピア北部に位置するティグライ州である。同州は面積約 5.4 万 km²、人口約 700 万人を擁し、標高約 2,000m の高原地帯が広がる。乾燥気候で季節性降雨に依存する農業が主要産業であり、伝統的な穀物栽培や牧畜が営まれている。しかし、干ばつや土地劣化に対して脆弱であり、近年は紛争による農地荒廃と食料不足が深刻化している。

紛争前後の経済活動と植生状態の変化を比較するため、米国 NOAA と NASA が共同開発した地球観測センサ VIIRS のデータを用いた。VIIRS は Suomi NPP や NOAA-20 などの極軌道衛星に搭載され、可視光から赤外域まで 22 の分光バンドを有し、375–750 m の空間分解能で地球全域を 1 日 2 回観測する。特に夜間光を検出する Day/Night Band (DNB) は都市灯や火災、停電を高感度で捉えることができ、地域の人口動態や経済活動の指標として利用される。また、光学バンドでは NDVI などの植生指数や地表温度の算出が可能であり、農業監視、森林被覆変化、災害影響評価など多様な環境モニタリングに応用されている。

3. 結果と考察

解析の結果、2021–2022 年の紛争期間中、ティグライ州の夜間光輝度は都市部において顕著な低下が確認された。一方、首都アディスアベバなど他州の主要都市では変化は見られず、この低下がティグライ州に特有の現象であることが示された。これは、同州における大規模な電力供給停止を反映しており、同時期に銀行サービスや通信網が停止あるいは厳しく制限されたという報告とも一致する。

電力供給の停止は農業活動にも深刻な影響を与えた。灌漑施設が稼働不能となった結果、多くの灌漑農地が放棄された。また、住民は代替エネルギーとして薪などのバイオマス燃料を利用せざるを得ず、森林伐採が増大した。その結果、深刻な食料不足と森林劣化が同時進行的に進んだ。NDVI アノマリー解析では、2022 年は例年と比較してティグライ州全域で植生指数が減少しており、特に農地および森林において顕著であった。エチオピア政府は過去の森林減少を教訓に数十億本規模の植林政策を推進してきたが、今回の紛争と電力供給停止に伴う薪利用の増加は、森林保護の成果を一時的に後退させた可能性がある。

これらの結果は、武力紛争が社会インフラの破壊のみならず、農業生産と森林資源の持続可能性にまで影響を及ぼすこと、さらに停電といった二次的要因が土地利用の変化を加速させる可能性を示唆している。今後の復興計画においては、エネルギー供給の安定化と土地資源管理を統合的に検討することが不可欠であると考えられる。

ウシ顔画像による個体識別技術に対する撮影時期の影響

○三輪雅史・吉山 紬・阪谷美樹(農研機構畜産研)

1. はじめに

ウシ飼養管理作業の省力化のために、カメラ映像を画像解析することでウシの観察作業を自動化する技術が開発されている。その際、特定の個体を対象とした観察を行うためには、映像からウシの個体識別を行う必要がある。これまでに耳標(Zin *et al.*, 2020)や牛体の紋様(Andrew *et al.*, 2021)を用いた個体識別が提案されたが、前者は耳標の検出が難しく、後者は紋様に乏しい品種で用いることができない。本研究では被写体として大きくかつ個体間で多様性のあるウシの顔に着目し、ウシを正面から撮影した顔画像を用いた個体識別技術を検証した。とくに異なる時期に撮影された画像でも個体の同一性が担保されるかを調査した。

2. 方法

データ収集は農研機構畜産研究部門(栃木県・那須塩原市)において 2025 年 8 月, 9 月, 10 月に各 1 回実施した。黒毛和種繁殖雌牛 21 頭をスタンションに保定し、スマートフォン(iPhone 15 Pro, Apple)を用いて約 1m の距離から個体ごとに 1 分以内の動画に記録した。動画から 1 秒間隔で静止画を切り出し、ウシが正面を向いた画像 3 枚を選抜した。各画像からウシの顔の矩形領域をトリミングし、計 189 枚(21 個体×3 撮影時期×3 枚)の顔画像を作成した。

各画像に対して ImageNet による事前学習済みの ResNet-50 を用いて特徴抽出を行い、2,048 次元の特徴ベクトルを取得した。画像同士の特徴ベクトルのコサイン類似度を算出し、画像の類似度の指標とした:

$$\cos(A, B) = (A \cdot B) / \|A\| \|B\| \quad (1)$$

すべての画像間のコサイン類似度を算出し、1) 同一個体・同時期の画像間、2) 同一個体・別時期の画像間、3) 別個体の画像間の 3 群で比較した。群間のコサイン類似度の差を明らかにするために、Kruskal-Wallis 検定と Bonferroni 補正を適用した Dunn 検定を用いた。

3. 結果と考察

コサイン類似度には群間で有意な差が認められ($p < 0.05$)、1) 同一個体・同時期の画像間、2) 同一個体・別時期の画像間、3) 別個体の画像間の順に高い値を示した(図 1)。したがって、画像間のコサイン類似度から同一個体を識別できることが示唆された。

ただし、各画像に対してコサイン類似度の高かった順に画像を並べると、同一個体・同時期の画像は 94.7%で上位 3 位以内に入るが、同一個体・別時期の画像は 50.8%しか上位 3 位以内には入らなかった

(表 1, 2)。つまり、撮影時期が異なる画像では同一個体の識別精度は低下することが示唆された。この原因として、撮影時期の違いによる牛の変化(例. 被毛)と撮影条件の変化(例. 画角)が考えられる。

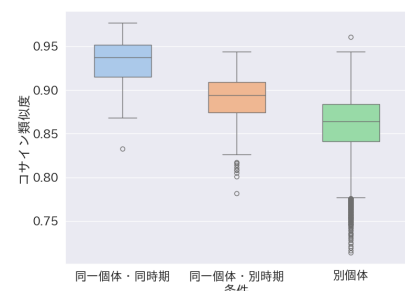


図 1. 画像間のコサイン類似度.

表 1 各画像のコサイン類似度上位 3 位以内に同一個体・同時期の画像が入る割合

1 位	2 位以内	3 位以内
86.2%	91.5%	94.7%

表 2 各画像のコサイン類似度上位 3 位以内に同一個体・別時期の画像が入る割合

1 位	2 位以内	3 位以内
27.5%	39.7%	50.8%

謝辞

本研究は JSPS 科研費(JP25K09363)の助成を受けて実施した。

参考文献

- Andrew, W. *et al.*, (2021) Visual identification of individual Holstein-Friesian cattle via deep metric learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185, 106133.
- Zin, T.T., *et al.* (2020) Automatic cow location tracking system using ear tag visual analysis. *Sensors*, 20, 3564.

黒毛和種去勢肥育牛における基底心拍数出現時の心電間隔データを用いた心拍変動解析指標の検討

○児嶋朋貴・嶋崎知哉(農研機構畜産研)・富田佑佳・兼子明美(愛知農総試)・
石田三佳(農研機構畜産研)

1. はじめに

近年、心拍間隔のゆらぎを解析する心拍変動解析(HRV)により家畜の自律神経(交感神経および副交感神経)活動の評価が行われている。心拍は身体活動の影響を受けるため、測定対象の状態や環境を一定にする必要があるが、自由行動下の家畜においては状態や環境を一定にすることは難しい。一方、演者らは、ヒトにおいて心拍の基準として注目されている基底心拍数(一日の最低心拍数, BHR)のウシにおける特性を報告し(岩崎ら 2024), その後の解析で BHR 出現時点における行動のほとんどが、横伏臥位あるいは睡眠用姿勢(首を曲げて頭部を体側に乗せる伏臥時の姿勢)であったことを見出した。そのため、BHR 出現時は、自由行動下の家畜において、状態や環境が一定である状態に近いと考えられる。そこで本研究では、BHR 出現時点、24 時間分および身体活動が少ないことが想定される夜間の心拍間隔データを用いた HRV 解析指標について比較を行った。

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 24-28), 令和 6 年 11 月に実施した。黒毛和種去勢肥育牛 6 頭(体重: 465 ± 50 kg, 14.8 ± 0.4 か月齢)を供試した。供試牛は 3 頭/群の 2 群に分けられ、粗タンパク質含量は同量(13.5%)だがルーメンバイパス率が 40%(40%区)および 60%(60%区)の配合飼料を給与され、その他の管理は両群で同一であった。なお、供試牛のうち 1 頭(供試牛 C)は試験終了 1 か月後に体調不良から病性鑑定を受け、細菌性心内膜炎と診断された。供試牛にホルター心電計を装着し、24 時間連続で心電計測を行うとともに、監視カメラにより供試牛の行動動画を記録した。得られた 24 時間分の心電計測データから R 波を検出し、R-R 間隔のタコグラムを算出した。タコグラムデータセットは 200 ms 間隔で再サンプリングされた 512 ポイントで構成され、各データセットにハミング窓を適用し、高速フーリエ変換を用いて変動のパワースペクトルを得た。周波数帯域は低周波帯域(LF)として 0.05–0.2 Hz および高周波帯域(HF)として 0.2–0.58 Hz と設定した。HRV 指標は、時間領域として、心拍数、心拍間隔の標準偏差および変動係数、周波数領域として、LF パワー、HF パワーおよび HF の正規化単位(HF.n.u.: $HF/(LF+HF)$)を算出した。HRV 指標値の時間帯での比較を行うため、24 時間分(全日)、活動が少なく安静にしていることが想定される午前 0 時から 7 時までの 7 時間分(夜間)および BHR 出現時の 5 時間分(5 時間分は HRV 短時間解析における標準の時間、BHR 時点)の HRV 指標値を求めた。なお、BHR 出現時は、睡眠様姿勢時における上述タコグラムデータセットの平均心拍数の最低値が出現した時点とした。

3. 結果と考察

HRV 指標値を全日、夜間および BHR 時点の時間帯で比較すると、時間領域の指標は時間帯で値は異なるが、個体間の指標値の大小関係は同様の傾向であった。周波数領域の指標も、全日および夜間においては個体間の指標値の大小関係は同様の傾向にあったが、BHR 時点では異なった。特に HF.n.u. は、全日および夜間において試験群間で同等程度の値であったが、BHR 時点では 40%区の方が高い値を示した。細菌性心内膜炎と診断された供試牛 C は、全日および夜間の LF パワー値において特徴的な値が見られたが、BHR 時点では特徴的な値ではなくなった。

本研究結果は少ない供試頭数から得られた結果であることに留意する必要がある。今後、供試頭数を増やし、更なる検討を行っていく予定である。

謝辞

本研究は、科学研究費助成事業(24K18007)の助成を受けて行われたものである。ここに謝意を表す。

参考文献

岩崎新也, 児嶋朋貴, 石田三佳 (2024) ウシにおける基底心拍数およびその出現時刻の飼養環境による変動. システム農学会 2024 年度大会講演要旨集, p. 33.

ビタミン A 制限が黒毛和種の枝肉形質間の遺伝的関連性に及ぼす影響

—家畜栄養学と家畜育種学の融合—

○廣岡博之(京都大院農)

1. はじめに

現在、ほとんどの和牛肥育農家ではビタミン A を制限した肥育が実施されているが、ビタミン A の欠乏と脂肪交雑の向上の関係が世に知られるようになったのは、北ら(1986)による岐阜県の屠場に搬出された黒毛和種肥育牛の血中や肝臓中ビタミン A 濃度と枝肉等級との間に関連性のあることを報告からであろう。その後、1990 年代に入り、多くの大学や試験機関でこの関係性を実証する試験が実施され、1990 年代終わりには、岡(1999)によって黒毛和種の肥育において良質肉生産のためのビタミン A 給与のガイドラインが提唱された。本研究では 1990 年代に収集された給与飼料のわかる枝肉成績のデータを分析することで、これまであまり知られていなかった枝肉形質間の遺伝的関係に及ぼすビタミン A 給与水準の影響を調べた。

2. 方法

1990 年代には、ビタミン A 制限が問題視され、ある飼料会社がビタミン A を充足した飼料を生産したところ、その飼料を給与することで脂肪交雑が大きく低下することが問題となった。ある企業体傘下の農家における当時の慣行飼料(ビタミン A 制限飼料)とビタミン A 充足飼料のどちらを給与したかがわかるデータを用いて、枝肉 3 形質(枝肉重量、BMS、ロース芯面積)に対する給与飼料の影響と種雄牛の期待後代差(育種価の 1/2)を推定し、その期待後代差間の相関を遺伝的関係性の指標として給与飼料におけるビタミン A 水準の影響を調べた。この分析では給与飼料別に、3 種の枝肉形質に対して種雄牛と農家を変量効果、出荷市場、出荷月、性別を母数効果、出荷日齢を共変量とし、期待後代差は種雄牛の BLUP 値として推定した。

3. 結果と考察

表 1 は 2 種の飼料の給与下の 3 枝肉形質の基本統計量を示したものである。この結果からビタミン A を補充することで、枝肉重量は増加するが BMS が低下することがうかがえる。

表 2 は、2 つの飼料条件下で共通に肥育牛を 10 頭以上持つ種雄牛の期待後代差間の相関を示したものである。この結果からビタミン A 制限飼料下における BMS とロース芯面積の期待後代差間の相関はビタミン A 充足下の相関よりも数値が大きく、ビタミン A の制限はこれらの形質間の遺伝的関連性を強めることが示唆された。一方、対角上の同一形質における 2 つの飼料条件の遺伝的関係性はいずれの形質でも高く、このことから給与飼料によって種雄牛の遺伝的能力の順位に大きな影響を与えないことが示唆された。

表1 異なる飼料条件給与下の枝肉3形質の基本統計量

飼料	枝肉形質	平均値	標準偏差
ビタミンA制限飼料 頭数 3,676	枝肉重量	380.7	41.8
	ロース芯面積	49.5	6.8
	BMS	5.08	1.92
ビタミンA補充飼料 頭数 2,041	枝肉重量	406.8	47.8
	ロース芯面積	49.9	6.4
	BMS	3.93	1.60

表2 枝肉3形質の期待後代差間の相関係数

	枝肉重量	ロース芯面積	BMS
枝肉重量	0.782	0.400	0.678
ロース芯面積	0.058	0.828	0.519
BMS	0.469	0.140	0.881

対角より上: ビタミン制限飼料条件、対角より下: ビタミンA充足飼料条件、対角上: 同一形質の異なる

謝辞

本研究は伊藤記念財団大型プロジェクト「肉用牛肥育におけるビタミンAコントロールの影響」の下で実施された。ここで謝意を表す。

引用文献

- 北 和夫ら (1986) 肥育牛(黒毛和種)におけるビタミンA欠乏の実態—第 2 報—. 獣医畜産新報, 785, 779-782.
- 岡 章生 (1999) 肉用牛におけるビタミン A. 栄養生理研究会報, 43(2), 137-144.

集中型バイオガスプラントを利用した酪農の ライフサイクル温室効果ガス排出量

○荻野暁史・山下恭広・吉原 茜(農研機構畜産研)・
芦田敏文(農研機構農工研)・佐藤正衛・藤田直聡(農研機構北農研)

1. はじめに

農業分野における脱炭素化に向け、家畜排せつ物のメタン発酵、すなわちバイオガスプラント(BGP)による処理が注目されている。BGP は特に乳牛ふん尿を対象として利用され、主要な処理法である堆積発酵と比較してメタン(CH_4)や一酸化二窒素(N_2O)の排出量が少ないことに加え、得られるバイオガスを燃料として熱や電気を得ることができる。また、副産物として得られる消化液を肥料として利用することで、化学肥料の削減につながる。例えば、Setoguchi *et al.* (2022)は、個別型 BGP を利用する酪農において、慣行農場と比較して温室効果ガス(GHG)排出量が小さいことを報告している。単一の酪農場ではなく地域の複数の酪農場の乳牛ふん尿を処理する集中型 BGP では、複数の酪農場のふん尿を原料として発電を行うと共に、消化液を酪農の自家圃場だけでなく同地域の畑作農家でも利用することで、より多くの再生エネルギー生産と化学肥料代替が見込める。ただし、BGP に関わる農場が広範囲に広がると、乳牛ふん尿の収集および消化液の運搬による輸送からの CO_2 排出量も増加することになる。一方、ライフサイクルアセスメント (LCA) はシステム全体の GHG 排出量等の環境影響の評価に適している。

そこで本研究では、集中型 BGP を導入している地域を対象に、BGP 利用および未利用の酪農システムについて、現地調査に基づき、GHG 排出量を LCA で評価した。

2. 方法

集中型 BGP が導入されている北海道十勝管内の A 町を対象とした。集中型 BGP は、乳牛ふん尿を主原料とし、得られたバイオガスにより発電を行っていた。自給飼料および購入飼料を含む飼料生産、飼料輸送、飼養管理、畜体、排せつ物管理の各プロセスをシステム境界に含めた。現地調査により、BGP におけるふん尿処理量、消化液発生量、発電量、燃料消費量等データを収集した。また、BGP 利用および未利用の酪農についてそれぞれ 3 軒の農場に調査を行い、乳量、飼料の組成および給与量、家畜管理および自給飼料生産での化学肥料等の農業資材や燃料消費量、消化液施用量等のデータを収集した。

農業資材および燃料・電力のインベントリデータには IDEA ver.2.3 を用い、乳牛ふん尿処理由来の CH_4 と N_2O および自給飼料生産由来の N_2O は、インベントリ報告書のふん尿量と排出係数を用いて算出した。

3. 結果と考察

今回調査した BGP 利用農場と未利用農場では、乳量はほぼ同等であった。LCA の結果、BGP 利用酪農システムは、未利用酪農システムと比較して、GHG 排出量が 17%低かった。BGP 利用酪農システムでは、飼料生産において消化液の輸送に伴う CO_2 や消化液施用に伴う N_2O の排出量が増加していたが、BGP の利用により排せつ物管理からの GHG が大幅に低減されていた。今回、農業機械の製造や施設の建設に伴う GHG は含めていないが、感度分析として排せつ物管理施設の建設からの GHG を含めても BGP 利用酪農システムの方が GHG 排出量は低かった。

謝辞

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「脱炭素型農業実現のためのパイロット研究プロジェクト」(JPJ009819)の補助を受けて行われたものである。

引用文献

Setoguchi, A., Oishi, K., Kimura, Y., Ogino, A., Kumagai, H., Hirooka, H. (2022) Carbon footprint assessment of a whole dairy farming system with a biogas plant and the use of solid fraction of digestate as a recycled bedding material. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 15, 200115.

森林との距離を考慮した条件不利農地面積の推計

○國井大輔・林 岳(農林水産政策研)・

佐藤真行(神戸大)・伊波克典(エコロジカル・フットプリント・ジャパン)

1. はじめに

我が国の農地面積は 1961 年をピークに毎年減少し続けており(農林水産省 2024), 食料安全保障や多面的機能の確保のためには, 農地の維持・管理は重要な政策課題となっている。農地減少の大きな原因の一つである農地の荒廃化の要因については, これまで様々な調査・研究がされているが, 条件不利性を農業地域類型から分析したり, 個別集落の事例調査にとどまっている。特に自然的要因として, 農林水産省は「山あいや谷地田など, 自然条件の悪い」ことが挙げているが(農林水産省 2024), 自然的条件の要因解析では, 集落からの距離や傾斜角などに焦点が当てられている。鳥獣害被害や日当たり等の影響により, 森林との位置関係は条件不利性にとって重要な要素であると考えられるが, それらを踏まえた分析はほとんど行われていない。そこで本研究では, 宮城県大崎市の田を対象に, 森林との距離と傾斜角度に着目し, 条件不利農地の面積を推計することを目的とする。

2. 方法

大崎市において, 農林水産省が公表する「筆ポリゴン」から 100 m のバッファー(バッファーポリゴン)を作成し, 10 メッシュ数値標高モデル(ESRI ジャパン)から作成した 10 m メッシュの傾斜角度のデータを用いて, バッファーポリゴン内の平均傾斜角度を算出した。その平均傾斜角度から, 農林水産省の中山間地域等直接支払制度対象農用地の傾斜角度基準を参考に, 平坦地, 緩傾斜地, 急傾斜地に農地を分類した。その後, 国土交通省国土数値情報ダウンロードサイトからダウンロードした森林地域(ポリゴン)からの距離が 10, 50, 100 m のバッファーとそれぞれ一部分でも重なる筆ポリゴン(耕地の種類: 田)を抽出した。

3. 結果と考察

本研究の結果, 大崎市において緩傾斜地と急傾斜地に分類される田の 74%及び 62%が平地農業地域に分布しており(表1), 必ずしも傾斜のある田が中間及び山間農業地域に分布しているわけではない。そのため, 農業地域類型は, 地域としての特性を把握するうえでは有益であるものの, 農地の条件不利性を把握するには不十分であることがわかる。そこで, 特に森林からの距離 10 m のデータに着目し傾斜地の分類を見ると, 田の 18.2%(2,773 ha)が急傾斜地に分布し, その内の 41%(1,125 ha)が森林にも近接していることが明らかになった。傾斜角度とともに森林からの距離を立地条件に考慮することで, 条件不利性をより正確に表現できると考える。そして, これら条件不利な田の大部分は, 谷地の様な山あい分布しており荒廃化の可能性が高く, 農地保全の観点から今後の管理体制の検討が急務である。市町村や都道府県レベルでの具体的な条件不利農地面積の推計は, 今後の効率的・効果的な政策立案に資するものと考えられる。

表 1 大崎市における田の立地条件の分析結果

	旧市町村数	合計面積(ha)	合計筆数	平坦地(ha)		緩傾斜(ha)		急傾斜(ha)	
					森林から10m		森林から10m		森林から10m
都市的地域	2	217	1,548	212	0	5	0	0	0
平地農業地域	20	12,876	46,628	9,238	4	1,918	157	1,720	668
中間農業地域	4	1,766	14,163	400	0	520	13	846	385
山間農業地域	2	364	3,644	0	0	156	6	208	72
合計	28	15,223	65,983	9,851	4	2,599	176	2,773	1,125

引用文献

農林水産省, 2024, 荒廃農地の現状と対策,

In: <https://www.maff.go.jp/j/nousin/tikei/houkiti/attach/pdf/index-35.pdf>. (2025 年 9 月 15 日アクセス)

車載カメラと距離学習を用いた外来植物のマッピング

○安田泰輔(山梨富士山研)・渡邊 修(信州大農)・川村健介(帯畜大)

1. はじめに

侵略的外来植物の侵入と繁茂は、地域生態系に深刻な影響を与え、生物多様性の損失をもたらす主要な要因となっている。山梨県においても、アレチウリをはじめ、オオハングソンソウ、ナガエツルノゲイトウ、オオキンケイギクなどの特定外来生物が侵入・繁茂しており、生物多様性への影響が懸念される。

一部地域では防除により繁茂が抑制されつつあるが、取り組みは限定的で、全県的な防除体制の構築・強化が求められている。広域的な防除を効果的に進めるためには、外来植物の分布情報を整備し、科学的根拠に基づく計画的な対策を立案することが有効である。

外来種対策では、侵入段階に応じて「早期発見・根絶」から「拡大抑止」までの対応方針が異なる。このため、分布状況の把握は、具体的な目標設定と行動計画を決定する上での基礎情報となる。著者らは広域を効率的に観測することを目的として 2021 年より車載カメラを用いた外来植物マッピングシステムの開発を進めてきた。この手法は、車両に搭載したカメラで路傍画像を連続的に取得することにより、広域かつ高効率な観測を可能にするものである。

本報では路傍画像から外来植物を検出する方法として距離学習 (Metric Learning) を提案する。画像中の外来植物を検出する際、YOLO 等の物体検出モデルが使われることが多い。高精度である反面、大量の教師データが必要となることから、多クラス分類に拡張しにくい。そのため、外来植物検出ではほとんど使われたことのない距離学習の適用を試みた。この方法は教師データが比較的少なく、かつ、多クラス分類に拡張可能という性質を持つことから、多様な外来植物の分類に有効であると考えられる。

2. 方法

損失関数として Triplet Margin Loss を使い、距離学習を実施した。本モデルは、anchor (各クラスの基準画像) と positive (同一クラスの画像) との距離を最小化し、negative (他クラスの画像) との距離を最大化するように特徴量空間上の埋め込みを学習する。これにより、同一クラスの画像が近傍に、異なるクラスの画像が遠方に配置される特徴量空間を形成する。

データは、2025 年 6 月から 8 月にかけて取得した路傍画像を用いた。各画像を 6×4 のメッシュ (1 枚あたり 400×400 ピクセル、計 24 分割) に分割し、分割されたメッシュ画像を分類単位とした。分類対象はアレチウリ (*Sicyos angulatus*)、オオブタクサ (*Ambrosia trifida*)、および ニワウルシ (*Ailanthus altissima*) の 3 種とし、これらが写るメッシュ画像を教師データとした。教師データの枚数は、アレチウリ 886 枚、オオブタクサ 662 枚、ニワウルシ 639 枚である。学習は Train: val = 8:2 = 1749 枚:438 枚で実施した。

3. 結果と考察

距離学習によるメッシュ画像の分類の結果、検証データでは top1 accuracy = 0.907 (“埋め込み空間で最も近いメッシュ画像が同じクラスである確率”) が得られた。ベース CNN には ResNet-18 を使い、512 次元の埋め込みを学習した。t-SNE により可視化したところ (図 1)、各クラスがクラスターを形成しており、分類できていることが確認される。今後、教師データを拡充し、汎化能力を評価するとともに、対象種の拡大など多クラス分類への適用を検討する。

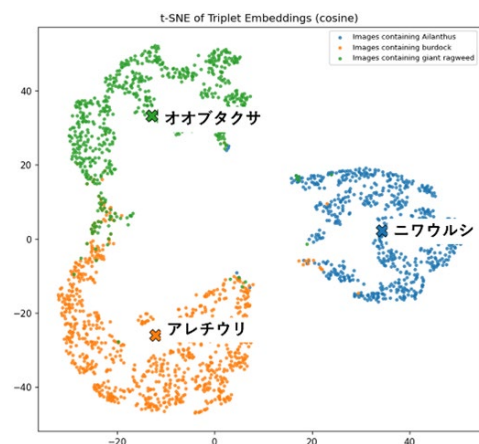


図 1. t-SNE で可視化した埋め込み空間 (×は各クラスの重心を表す)。

Zero-shot Learning を利用したキクの粗密度評価

○吉利怜奈(農研機構口ボ研)・藤迫 哲・佐伯謙司・松下令実(農研機構種苗管理セ)・
林 篤司・高地伸夫(農研機構口ボ研)

1. はじめに

農業・食品産業技術総合研究機構の種苗管理センターでは、植物の品種登録審査のために、形態的特性の調査を実施している。中でもキク属は、審査件数が最も多い植物種の一つであり、評価項目が 100 以上と多岐にわたり、調査には多大な労力を要する。キク属特性調査マニュアル(種苗管理センター 2024)によると、頭花の大きさや舌状花の形状・色などを含む各項目の調査には、高さや長さの測定に加え、目視による観察が行われている。本研究では、Zero-shot Learning の一手法である Segment Anything Model 2 (Ravi *et al.*, 2024)を用いて舌状花の検出を行い、評価項目の一つである「粗密度」の定量的評価への応用可能性を検討した。

2. 方法

本研究では、種苗管理センターにて撮影された、頭花全体が画像の中心に写るキク画像(図 1(a))を用いた。これらの画像は、キクの頭花を切り取り、真上を向くように固定した後、垂直方向から撮影されたものである。撮影した 54 枚のキク画像(35 品種)について、目視により舌状花をカウントし、キク属特性調査マニュアルの評価基準により粗密度(3~8 の 6 段階)を評価した。舌状花の検出には、まず SAM2 を用いて頭花部分を切り出し(図 1(b))、そのマスク情報から、頭花の大きさを取得した。次に、頭花のみの画像に対して再度 SAM2 を適用し、舌状花のセグメンテーションを実施した(図 1(c))。頭花の大きさの 1/4 以下のマスクを舌状花と定義し、頭花に対する舌状花の検出割合を算出した。重複マスクの除去には、各マスク間の IOU (Intersection over Union) を計算し、値が 0.8 以上の場合はサイズが大きい方のみを残した。検出されなかった部分については、舌状花の平均マスクサイズで補正し、推定数に加えた。最後に、舌状花推定数と目視による舌状花数を比較し、粗密度との相関係数を求めた。

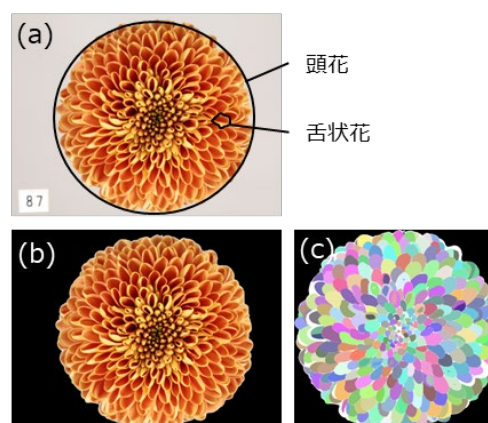


図 1.(a)頭花と舌状花, (b)頭花の切り抜き, (c)セグメンテーション結果.

3. 結果と考察

SAM2 によって推定された舌状花数と目視による舌状花数との間の決定係数(R^2)は 0.73 であった(図 2)。また、粗密度階級ごとの舌状花推定数の差を一元配置分散分析(ANOVA)により検定した結果、有意差が認められた($p < 0.001$)。さらに、粗密度階級と舌状花推定数の関係をスピアマン順位相関で評価したところ、正の相関が認められた($\rho = 0.73$, $p < 0.001$)。これらの結果は、粗密度が高いほど舌状花推定数が増加する傾向を示しており、従来は人の主観的判断に依存していたキクの粗密度評価を、機械的かつ効率的に行える可能性を示している。

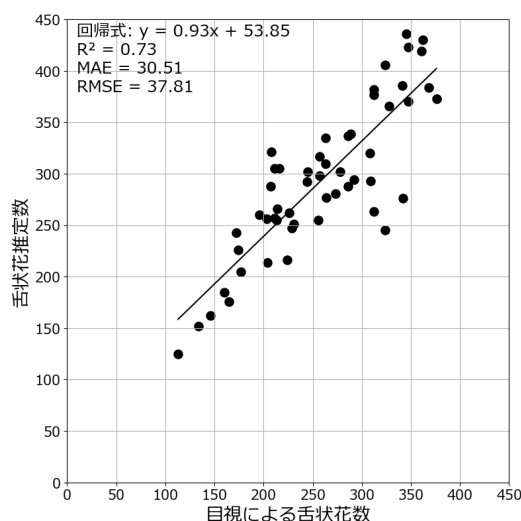


図 2. 舌状花推定数と目視による舌状花数.

引用文献

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

種苗管理センター:キク属特性調査マニュアル 第 7 版 2024 年 3 月 27 日 改正, In https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/137489.html.

Ravi *et al.*, (2004) SAM 2: Segment Anything in Images and Videos, arXiv preprint arXiv:2408.00714, <https://arxiv.org/abs/2408.00714>.

CFD によるネット式防雪柵の周辺の流れ場の予測と空隙率の影響の検討

○大風 翼(東京科大)・新屋啓文(新潟大)
大宮 哲(寒地土木研究所(現:北海道開発技術セ))

1. はじめに

寒冷地の道路では、吹雪による視程障害や吹きだまりの形成がしばしば問題となり、道路風上に防雪林を造成し、風速を低減することでこれらを緩和する対策が行われている(原田ら, 2024)。また、下枝の枯れ上がりによる防風機能低下に対し、防雪林内にネット式フェンスを導入する工法も提案されている。新屋ら(2025)は、野外観測に基づき、仮設フェンス周辺に形成される吹きだまりの形状について検討を行い、空隙率 0%のシート式のフェンスは主に風上に吹きだまりが形成されるのに対し、空隙率が 33%, 50%のネット式フェンスでは、フェンスの前後に吹きだまりが形成されることを示すとともに、空隙率が大きくなるとより広範囲に雪が堆積することを示した。本研究では、CFD(Computational Fluid Dynamics)を用いて、空隙率の変化がフェンス周りの流れ場に及ぼす影響を検討し、吹きだまりの形状との関係について分析を行った。

2. 方法

流れ場は、OpenFOAM v2412 により再現した。乱流モデルは標準 $k-\epsilon$ モデル(Jones and Launder, 1972)を用いた。フェンスの高さは 1 m とし、空隙率は 0%(固体壁)、33%, 50%の 3 通りとした。ネットフェンスの流体力学的抵抗は、空隙率の関数として圧力損失係数を与えることで再現した(Santiago *et al.*, 2007)。流入風速は、高さ 10 m で 10 m/s とし、粗度長 0.0001 m とした対数速度分布を与えた。その他の解析条件は、「都市の風環境予測のための CFD ガイドブック」(日本建築学会, 2020)を参考に与えた。

3. 結果と考察

図 1 に、平均風速の主流成分の空間分布を示す。空隙率 0%のフェンスでは、フェンス風上で風速が大きく減衰するとともに、上端ではく離に伴い、フェンス後方 10 m (フェンス高さの 10 倍)程度まで逆流域が形成されている。空隙率 33%では、流れがフェンスを透過するものの、フェンス上端ではく離とフェンス後方 2 m から 5 m 付近に逆流域が見られる。フェンス後方 1.5 m 付近に吹きだまりのピークが観測されており(新屋ら, 2025)、逆流位置近傍まで、雪粒子が輸送され、堆積していると考えられる。一方、空隙率 50%では風上よりも風速が 30–40%低下し、弱風域が形成されているものの、逆流域は形成されていない。フェンス後方で雪粒子が静止する程ではないものの風速が低減することで、流れが高密度吹雪を維持できなくなり、風上から飛散してきた雪粒子の一部が、フェンス後方で広範囲に堆積した可能性がある。

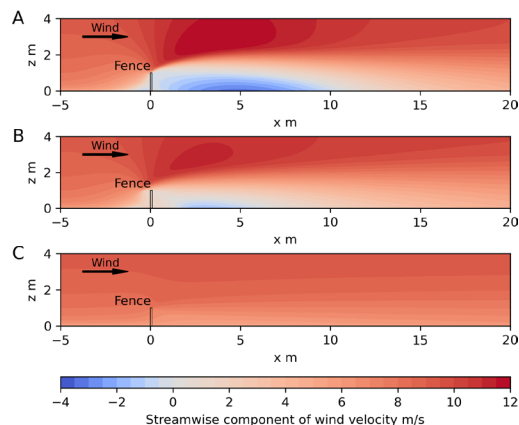


図 1. 主流風速の分布; A は空隙率 0%, B は 33%, C は 50%.

引用文献

原田裕介, 吉井昭博, 大宮 哲 (2024) 道路防雪林に

おける今後の課題と対応策の検討. 第 67 回(2023 年度) 北海道開発技術研究発表会論文.

新屋啓文, 氏家明日香, 大風翼, 大宮 哲 (2025) ネット式防雪柵による吹きだまり範囲の推定. 雪氷研究大会(2025・津)講演要旨集, p. 152–153.

日本建築学会, 2020, 都市の風環境予測のための CFD ガイドブック, 丸善出版.

Jones, W., Launder, B. (1972) The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence. *Int. J. Heat Mass Transf.*, 15, 301–314.

Santiago, J.L., Martín, F., Cuerva, A., Bezdeneznykh, N., Sanz-Andrés, A. (2007) Experimental and numerical study of wind flow behind windbreaks. *Atmos. Environ.*, 41, 6406–6420.

大学生の日本酒に対する意識構造と消費拡大に向けた方策 —アンケート調査に基づく分析— ○長命洋佑(広島大院統合生命)

1. はじめに

国税庁の調査によると、日本国内における日本酒の消費量は、1973年のピーク時には177万kLであったが、2022年にはその4分の1以下の40万kLにまで下落しており、日本酒の消費量減少が著しいことが伺える。日本酒の消費量が減少している背景について、人口減少や高齢社会などの社会的な構造変化、自家用車の普及に伴う飲酒機会の制限、洋食や中華料理などの普及に伴う和食以外の食の多様化、などが指摘されている(軍司, 2022)。さらに、若者にとって日本酒独特の「苦味」が嗜好に合わず、購買意欲が低下していること、若者は男女ともに、チューハイやカクテルなど、低アルコール飲料を好む傾向があり、その消費拡大が若者の日本酒離れに拍車をかけていることが指摘されている(鈴木, 2012)。このように、若年層の中でも飲酒可能な年齢層に属する大学生の日本酒離れが進行すると、日本酒全体の消費減少に重大な影響を及ぼす可能性がある。

そこで本報告では、大学生を対象としてアルコール消費に関する実態を明らかにしたうえで、日本酒に対する意識構造の特性を抽出し、消費拡大に向けた方策について明らかにすることを目的とする。

2. 方法

本報告では、広島県内の5つの大学(県立広島大学、広島修道大学、広島工業大学、福山大学、広島大学)の大学生を対象に、アンケート調査を実施した。アンケート結果の分析方法としては、お酒の飲酒頻度や飲酒時によく飲むお酒の種類および購入基準に関しては、性別とのクロス集計を行った。次いで、性別とよく飲むお酒の種類および購入基準との関係を座標表面上に示すため、コレスポンデンス分析を用いて関係性を明らかにした。

3. 結果と考察

分析の結果、飲酒の種類としては、リキュールやビールが高く、それらに比べると日本酒飲酒は低いことが明らかとなった。また、性別により、飲酒の種類や購入する際に着目する点、等が異なっていることが明らかとなった。具体的には、男性は品質を重視し、論理的な情報処理を通じて日本酒を選択する傾向が示された一方で、女性は口コミや視覚的情報に基づく感性的な判断を行う傾向が明らかとなった。

日本酒を頻繁に飲まない層においては、「おいしくない、辛い」、「アルコール度数が高い、すぐに酔う」など、辛味やアルコール度数の高さが阻害要因となっていること、その一方で、甘口や低アルコール度数の日本酒に対する潜在的な需要が存在することも明らかとなった。

日本酒の需要拡大に向けては、気軽に試飲できる店舗の設置、料理とのペアリング提案、祭り等のイベントにおける試飲機会の提供といった「試飲」を通じた接点の創出に加え、SNS等のメディアを活用した視覚的訴求が重要な戦略となる可能性が示唆された。こうした取組みを実施することにより、日本酒に対してネガティブな印象を持っている大学生において、認識の転換を促す契機となる可能性がある。

謝辞

本報告は、公益財団法人発酵研究所“the Institute for Fermentation, Osaka”の助成を受けたものである。改めて感謝の意を記す。

引用文献

- 軍司円, 板垣順平, 砂野唯 (2022) 若者の日本酒への興味関心を促すラベルやパッケージのデザイン要素の抽出を試みる一考察. デザイン学研究, 69(2), 1-10.
- 鈴木由佳, 金内(神谷)博子, 金内誠, 石堂智子, 森田明, 坪田康信 (2012) 20~30代の消費者における清酒の嗜好的購買決定要因について. 日本醸造協会誌, 107(9), 699-705.

国土強靱化に資する省力水稻栽培方法の開発と実践

○松村寛一郎(金城大)・杉本賢二(大阪公大)・Srishti Arora(Ignisnova-Robotics)

1. はじめに

日本における原風景を維持するためには水田地帯の維持が必須である。新規就農者が、安定した収穫量と、農作業省力化を実現するための以下の①～⑤の支援方法を実践し、提案する。水田地帯に存在する金城大学・笠間キャンパスを舞台に、①マルチスペクトルカメラ搭載ドローンを用いた水田の生育状況の把握、②農薬散布ドローンを用いた防除、③インド・ムンバイの企業との連携で気象観測ステーションと農業者向けのスマートフォンアプリを用いた水稻栽培支援システムの開発、④ラジコンカーを用いて北海道・道東地域の牧草地における雑草のギシギシ除去と北陸における移動台車を用いた大豆畑の農薬散布方法、⑤ドローンと人工衛星データにデータに対してディープラーニングの手法を適用した解像度を上げる手法。

2. 方法

マルチスペクトルカメラ搭載ドローンで水稻の連続写真を撮影・合成して植生指数を生成して宮保町生産組合へ提供している。2025年6月は、例年よりも数度以上高いために稲の生育が早まり、成長のバラツキが示されている(この時期の高温が収量安定に寄与)。水稻栽培品種のゆめみずほ“は、4月下旬に田植え、7月中旬に1回目の防除、2回目がその1週間から10日後。”こしひかり“は5月中旬に田植え、”百万石“は5月下旬に田植えのサイクルになっており、それぞれ防除を2回行うが、昨今、カメムシの越冬が大問題となっており、さらにカメムシ対策のために追加の防除が必要とされる場面が増えている。農薬散布および錠剤散布の2機材を運用しており、可変施肥の有効性に関する検証を進めている。

インド・ムンバイの Ignisnova-Robotics 社と農家を対象とした Sentinel-2 衛星データを用いた植生と湿潤指標を提供してきた。同社がアフリカのケニアでの茶畑で気象観測ステーションと併せて運用しているシステムを日本の水稻栽培に対応できるようにアンドロイドのスマートフォンアプリとしての提供を目指している。どのタイミングで肥料や農薬を投入したかを入力して、気象情報と併せて収穫量と昨今問題になっているカメムシの出現を事前に予測する仕組みづくりを行っている。

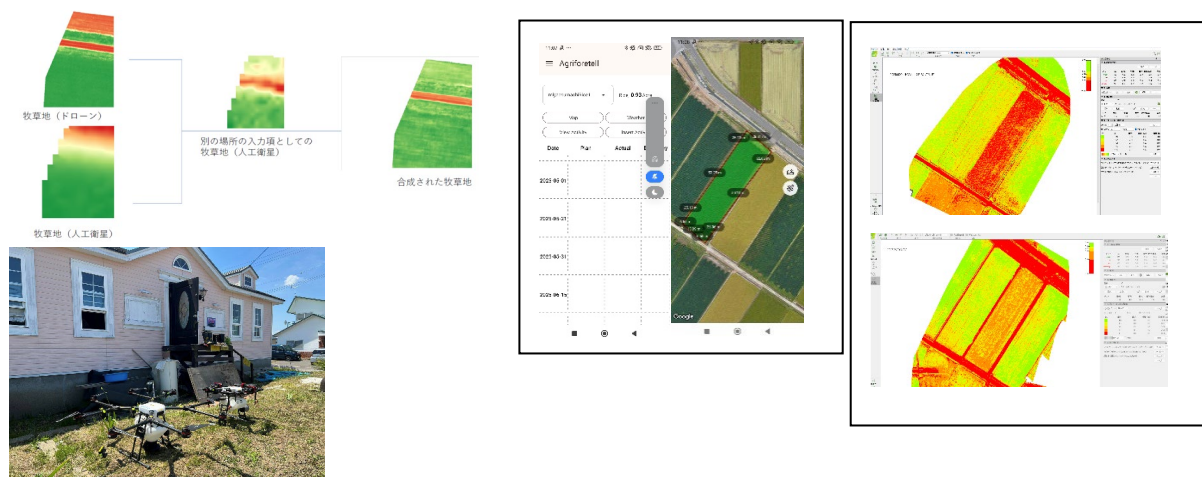


図. ドローンデータと人工衛星データの融合(左上), 農業 DX アプリ(中), 2025 年 6 月 9 と 30 日の植生指数, 加工場として運営しているトレーラーハウス(北海道・大空町)の農薬散布ドローン(左下).

引用文献

Xiao, J., Aggarwal, A. K., Rage, U. K., Katiyar, V., Avtar, R. (2023) Deep learning-based spatiotemporal fusion of unmanned aerial vehicle and satellite reflectance images for crop monitoring. *IEEE Access*, 11, 85600-85614.

松村寛一郎, Xiao Juan, Ram Avtar (2024) リモートセンシングとドローンのベストミックスによる牧草地管理手法の開発. 東京農業大学生物産業学部網走寒冷地農場年報, 26, 39-47.

農林水産統計を活用した品目別・都道府県別の 収量・価格・農業収入の年次変動可視化ツールの開発

○永井孝志(農研機構農環研)

1. はじめに

気候変動等の影響により、収量の年次変動の幅が上昇し、農業生産が不安定になるリスクがある。また、収量の変動とともに販売価格も変動し、農家の収益も年次的に変動する。このような年次変動について、品目別・都道府県別の包括的な解析事例はこれまでに報告されていない。本研究では、農林水産統計の作物統計と農作物価統計の長期的な年次変動データを統合・解析することにより、89品目の収量・価格・農業収入の年次変動をそれぞれ定量的に解析した。さらに、都道府県・品目を選択して変動性の指標を表示したり、栽培品目の組み合わせによるリスク分散効果を表示したりできる可視化ツールを開発した。

2. 方法

品目別・都道府県別の収量と出荷量(10 a あたり)については、作物統計の1985–2021年のデータを整理した。品目別の農家販売価格については、農作物価統計の1985–2021年のデータを整理した。出荷量に価格をかけて農業収入(10 a あたり)を算出した。各年の収量、価格、農業収入について、平年値と当該年度の値の比をそれぞれ作況指数、価格指数、農業収入指数(平年を100とした場合の比として示す)として算定した。それら指数の平均値(高いほど上昇傾向が強いことを意味する)と標準偏差(高いほど年次変動が大きいことを意味する)の2つを変動性の指標とした。これらの解析に足るデータが得られたのは89品目であった。

3. 結果と考察

例えば愛知県におけるキャベツ栽培を例にとると、収量・価格・農業収入の年次変動性は、それぞれ平均値で100.1, 100.4, 98.9, 標準偏差で4.5, 19.8, 14.5となった。トレンドとしてはほぼ横ばい、変動の大きさは他品目と比べて低いほうであった。また、同県におけるキャベツとたまねぎを組み合わせ栽培したとき、それぞれの農業収入指数の標準偏差は14.5と16.0であるところ、キャベツ55%・たまねぎ45%の割合で組み合わせ栽培した場合に標準偏差は最小の11.8となり、それぞれを単独で栽培した場合よりも年次変動の幅を抑えられると算出された。

引用文献

永井孝志, 2023, 作物統計を用いた作物別・都道府県別の収量変動リスクの定量化, 農業情報研究, 31, 120–130.

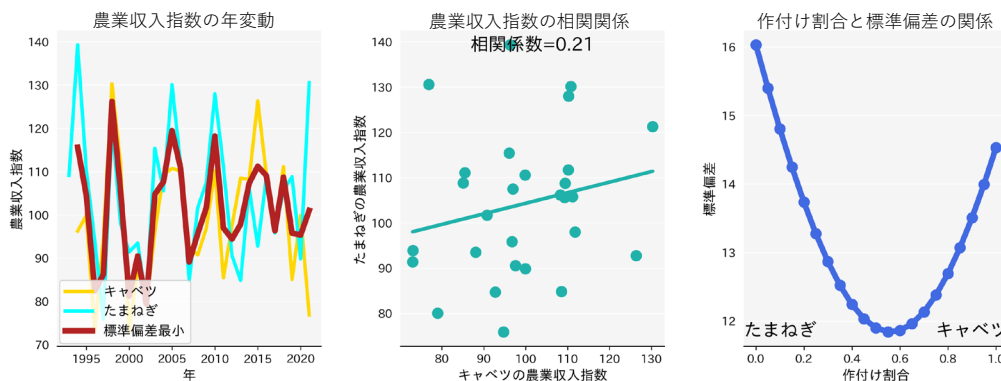


図1. 愛知県におけるキャベツとたまねぎ栽培の年次変動の可視化結果。

左側は農業収入指数の年次変動を示し、キャベツ単独・たまねぎ単独・2品目を標準偏差最小となるよう組み合わせ栽培した場合をそれぞれ示す。中側は2品目の農業収入指数の相関関係を示す。右側は2品物の作付け割合(右端がキャベツ100%, 左端がたまねぎ100%)が両者合計の標準偏差に与える影響を示す。

農学における専門研究の弊害とシステム農学の在り方

○廣岡博之(京都大学院農)

1. はじめに

アリストテレスによる「全体は部分の総和以上のものだ」はシステムの定義によく使われている格言である。この全体と部分の関係に関する概念的・理論的な研究は古くから行われている(Lin, 1992; Findlay and Thagard, 2012)が、実際のデータによって全体と部分の関係を調べた研究は、演者の知るかぎり報告されていない。そこで演者らのグループはこの問題に関する研究を 2022 年にシステム農学会大会で発表し、その内容をもとにした論文をシステム農学に投稿したところ、3 回に及ぶやり取りの後に却下されるに至った。このことは現在の農学における専門研究の弊害とシステム農学の敗北を端的に示す好例と考えられ、今回発表することにした。

2. 却下された論文の概要

この研究では黒毛和種肥育牛 1,908 頭に関するゲノム情報(34,481 個の SNP 情報)と表現型値(測定値)データを用いて 29 対の常染色体別の推定育種価の分散(部分)と個体の推定育種価の分散(全体)との関係を調べたものであった。これまでの研究は一般には個体レベルでの分析(ゲノミック評価)あるいは遺伝子レベルでの分析(ゲノムワイド分析など)であったが、本研究ではインパクトファクターが 29.0 の国際雑誌に掲載されている Yang ら(2011)の方法を用いて染色体別の育種価を推定した。このように求められたゲノム育種価は、その染色体上にある遺伝子の統合値と考えることができる。その結果、いずれの形質に関してもゲノム全体の推定ゲノム育種価分散は、常染色体別推定ゲノム育種価の分散の和よりも大きく、このことはゲノムレベルでのシステム理論における全体と部分の関係を反映したものと考えられた。

3. システム農学の敗北

40 年近く前に岸根(1984)は専門研究の問題点とその弊害について述べ、専門化による科学の危機について言及している(図1)。「全体は部分の総和以上のものだ」とする格言を実際のデータで具体的に示した演者らの研究に関してそのシステム学的意味は極めて大きかったと確信するが、そのことを専門知識のみの研究者が理解することはそもそも難しく、また専門知識のみでの査読の結果、極めてユニークな視点を持つ論文が葬られてしまったという結末はまさにシステム農学の敗北といえる。また同時に、システム農学的な思考が他の専門分野から受け入れられにくいということもまた十分に認識しておく必要がある。

引用文献

Lin, Y. (1992) A systems study: The comparisons of “Whole” and “Parts”. *Kybernetes*, 21(3), 33–41.

<https://doi.org/10.1108/eb005927>

Findlay, S. D., Thagard, P. (2012) How parts make up wholes. *Frontiers in Physiology*, 3, 455.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00455>

岸根卓郎 (1984) 自然・空間・人間システムの設計—学際研究の推進と新しい国づくりを目指して—。システム農学, 1(1), 40–64.

Yang, J., Manolio, T. A., Pasquale, L. R., Boerwinkle, E., Caporaso, N., Cunningham, J. M., De Andrade, M., Feenstra, B., Feingold, E., Hayes, M. G., Hill, W. G. (2011) Genome partitioning of genetic variation for complex traits using common SNPs. *Nature Genetics*, 43, 519–525.

<https://doi.org/10.1038/ng.823>

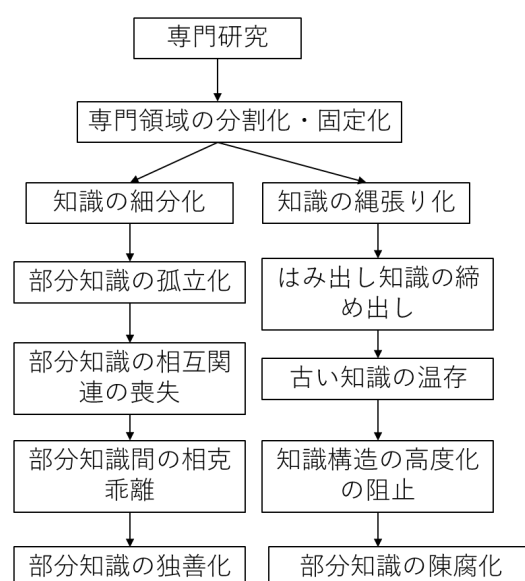


図1. 専門化による科学の弊害(岸根 1984 より).

システム農学会 2025 年度大会 in 帯広

宇宙から監視する新たな草地酪農に向けて
～人工衛星を活用した大規模草地植生の判別とその活用～

大会実行委員長

川村 健介
帯広畜産大学

大会実行委員会

シンポジウム	田中 常喜	道総研 酪農試験場
	秋山 雄希	道総研 酪農試験場
編成・編集担当	川村 健介	帯広畜産大学
優秀発表賞担当	三輪 雅史	農研機構 畜産研究部門

主催 システム農学会 <http://jassnet.org/>