

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15639

研究課題名（和文）周年林間放牧による生態系サービスのシナジー・トレードオフ解析

研究課題名（英文）Study of synergies and trade-offs between ecosystem services with cattle grazing in forested area

研究代表者

山崎 由理（Yamazaki, Yuri）

鳥取大学・農学部・准教授

研究者番号：00826696

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000 円

研究成果の概要（和文）：周年林間放牧で肉牛を生産しているK牧場を対象に、放牧地の牧草のNDVIおよび飼料の成分分析を行った。

放牧地のNDVIの平均値は6月および8月に0.59～0.87を示した。放牧地では、放牧牛の採食や雑草の侵入により放牧地内のNDVIの分布にばらつきが見られたが、牛が放牧地を移動し、採食の影響を受けない一定期間が存在することで、植生が回復している様子が確認された。また、K牧場の放牧地および採草地の飼料成分結果から、粗たんぱく質や可消化養分総量は一般的な放牧草と比較して良好であり、K牧場の林間放牧では粗放的な管理でありながら、放牧地全体の牧草品質や生育状態を良好に維持していることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放牧地および森林を利用して家畜を生産する林間放牧は、日本における家畜飼料の輸入依存を解消し、畜産物の自給率向上に資するだけでなく、自然と共存する農業を実現する古くて新しい管理技術である。本研究では、周年林間放牧による肉牛生産で有機畜産JASの認証を受けているK牧場を対象に、化学肥料や農薬を使用せず、かつ放牧地の牧草だけで肉牛生産を可能とする管理方法について、放牧地の植生の状態や飼料成分、放牧牛の行動実態、放牧地を流れる河川の水質への影響などの複数の視点から網羅的に調査したものである。本研究の成果は、日本国内における放牧畜産の普及促進に向けた基礎資料となることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：We analyzed the NDVI of pasture grasses and forage composition in K farm that produces beef cattle on annual forest grazing. Mean values of NDVI in the pasture ranged from 0.59 to 0.87 in June and August. Although the distribution of NDVI in the pastures varied due to foraging by grazing cattle and weed invasion, it was confirmed that vegetation was recovering as cattle moved through the pastures and there was a certain period of time when the pastures were unaffected by foraging. The results of forage composition in the pastures and forages of Pasture K showed that crude protein and total digestible nutrients were better than those of common pasture grasses, indicating that pasture quality and growth conditions were well maintained throughout the pasture despite the coarse management of forest grazing in K farm.

研究分野：農業農村工学

キーワード：林間放牧 環境保全型農業 NDVI 飼料成分 窒素安定同位体比

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年、環境保全型農業のひとつとして放牧畜産が見直され始めている。国土の7割以上が森林である日本では、豊富な林床植物の飼料としての利用や下刈り効果、食糧自給率の向上などの点から育林作業の省力化と低コスト肉牛生産を結合させた林間放牧が古くから行われてきた。これまで、畜産サイドおよび林業サイドからの林間放牧によるメリット・デメリットが多く議論されてきており、近年はアニマルウェルフェアの観点からも評価されている。とくに、「食の安全・安心」の担保が重要視され健康への意識が高まるなか、放牧による健全な家畜生産への需要が今後高まることは必至である。また、家畜放牧による環境への影響評価に関する事例は少ないものの、放牧頭数や放牧期間の調整が自然草地の草地性生物相の再生に有効であることが報告されるなど、放牧畜産は自然生態系の保全管理方法のひとつとしても期待できる。しかし、有機栽培や無農薬による作物生産が全国各地でブランド化され広く認知されていることと比較して、国内における放牧畜産の知名度や普及率は低い。これには放牧畜産による環境への影響や効果に関する調査報告が少ないことも原因の一つであると考えられる。

2018年より北海道日高振興局に位置するK牧場および様似川流域において、林間放牧による窒素除去機能に注目し河川水質調査を行ってきた。その結果、K牧場では肉牛の飼養により一定の負荷を水系に及ぼしているものの、周辺の森林流域の水質とほとんど差がみられず比較的良好な河川水質を示した。また、放牧地や林間からの土壌流出が確認されなかったこと、放牧地周辺ではエゾシカやキタキツネ、ヒグマなどの野生動物が多く目撃されることなどから、複数の生態系サービスの機能を有する可能性を感じた。

たとえば、K牧場の林間放牧では肉生産による食料供給（供給サービス）、適切な森林管理や家畜使用頭数密度の維持による水質浄化・土壌侵食の抑制（調整サービス）、放牧地としての半自然草地の維持による生息環境の提供（基盤サービス）、自然景観の保持（文化的サービス）などの機能を有する可能性が考えられる。複数の生態系サービスを有する場合、そのサービス間には密接な関係があることが知られている。あるサービスの向上に呼応して他のサービスも向上するような関係をシナジーとよび、あるサービスの向上が他のサービスを低下させる関係をトレードオフとよぶ。シナジーとトレードオフの関係を明らかにすることはより多くの生態系サービスの発揮と土地利用や生態系管理に貢献するといわれる一方で、既往の研究ではひとつの生態系サービスに着目している場合が多く、生態系サービス間の関係を検討した報告は少ない。放牧畜産は山間部や耕作放棄地の利用、山林の管理などが期待されることから、農業と国土保全の面からもその普及が推奨されているが、環境への正の効果に関する具体的な調査事例は非常に少ない。放牧畜産による環境への正の影響および負の影響を定量的に評価し、生態系サービス間のシナジーを向上させるための放牧管理方法の確立は持続可能な農業の進展に向けての大きな課題であるといえる。

2. 研究の目的

林間放牧における生態系サービスがトレードオフの関係となるかシナジーの関係となるかは、家畜飼養頭数や飼養密度を含め、放牧地および林間の管理方法が大きく影響することが推察される。また、本研究の対象地であるK牧場は様似ダムの上流部に位置することから、林間放牧による環境への攪乱は、森林生態系や放牧地だけでなく、水系を通して下流域の農業や漁業、海洋にも影響が伝播することが推察され、流域を単位とした検討が必要であると考えた。

本研究では、北海道日高振興局に位置するK牧場および様似川流域を対象とした。K牧場は、様似川上流部の森林域において周年・林間放牧を行っており、放牧地の内部を様似川が流下している。K牧場は2018年に「完全放牧野生牛」として有機JAS畜産の認定を受け、その飼育方法や肉質が評価されている。またK牧場は様似ダムの上流部に位置しており、下流域は主に飼料用作物および軽種馬の生産が盛んで、沿岸部ではサケの定置網漁やコンブ漁が行われている。本研究では、周年林間放牧の生態系サービスを定量的に評価し、サービス間の関係を明らかにするために、(1)放牧地、(2)放牧管理、(3)様似川水系の3つについて調査を行った。

- (1) K牧場の放牧地は草地造成以来およそ40年間更新が行われていないことから、周年放牧による攪乱の影響を大きく反映していることが予想される。そこで、UAVによる空撮画像を用いた解析を行い、周年放牧により維持される半自然草地の植生や生物多様性（種数やバイオマス量、分布状況）、放牧牛の利用状況、樹種の侵入状況について経年的に調査した。また、K牧場内の放牧地および採草地の複数地点から牧草を採取し飼料分析を行った。
- (2) 放牧地および林間の状況は、放牧牛の利用や管理方法によって変化することが推察される。そこで、放牧牛の行動を観測するために、センサーカメラを用いた移動経路の把握や放牧地・林間の利用実態の観測を行った。
- (3) 流域内での一連の物質循環に林間放牧がどのような役割・機能を有するかを検証した。本研究では、様似川水系において付着藻類中の窒素定同位体比の観測を行った。

3. 研究の方法

調査対象地は北海道日高振興局に位置する K 牧場である。K 牧場の放牧地および採草地面積は約 100ha であり、肉用牛を周年林間放牧により飼育している。肉用牛の品種はアバディーン・アンガスであり、2018 年現在の飼養頭数は 80 頭であったが、2024 年現在は 100 頭まで増加した。なお、K 牧場では放牧地および放牧地内に点在する林と山裾の森林部を利用しており、放牧牛は放牧地と林間を自由に移動できる。また、冬期間（11 月下旬～3 月下旬）を除いて昼夜放牧を行っており、放牧期間中の給餌は行われていない。

（1）土壌および植生の基礎調査

K 牧場の放牧地は林や河川などで複数に分かれており、とくに牧場内を通る国道によって北側と南側の放牧地が二分されている。これらの放牧地は草地造成以来 40 年以上無更新で管理されており、顕著な植生の悪化などが見られない限り、基本的には施肥は行われていない。本研究では、複数の放牧地のうち比較的面積の大きい 南側放牧地（S）、北側放牧地（N）、南側林間（SF）および 北側林間（NF）を調査対象とした。また、これまでに実施した放牧牛の行動調査および農家への聞き取り調査から放牧牛の利用頻度が高いことが分かっている。南側放牧地は、放牧地を 4 つの区画に区分（S1～S4）し各区分で調査を行った。なお、調査は 2021 年 7 月に実施した。

対象の放牧地および林間においてそれぞれ 5～10 箇所の土壌試料を採取した。土壌採取時には、土壌水分、pH、EC および位置情報を取得し、同地点において植生調査（目視による植被率観測）を実施した。なお、調査に使用した計測機器はデジタル土壌酸度計（シンワ測定株式会社）、土壌ダイレクト EC 計（Hanna instruments）および土壌水分測定器（竹村電機製作所）である。また、K 牧場内の土壌分類は黒ボク土および褐色低地土である。

採取した土壌を研究室に持ち帰り、ATP および C/N 比を測定した。ATP とは、すべての生物の細胞内に存在する ATP（アデノシン三リン酸）を酵素などと組み合わせて発光させ、その発光量（Relative Light Unit；RLU）を測定する方法のことである。本研究では、浦嶋ら（2017）を参照し簡易的な ATP 計測を実施した。ふるい分けをした土壌試料 2g に 200mL の蒸留水を加え 1 分間攪拌・懸濁し、その懸濁液の中心部付近から土壌懸濁液をマイクロピペットで市販の ATP 測定キット（ルシバック Pen-AQUA）に採取・添加し、小型ルミノメーター（ルミテスター PD-30）を用いて発光量（RLU（relative light unit）値）を測定した。ATP 測定キットに土壌懸濁液を添加して 1～5 分間において 1 分ごとに RLU 値を測定し、その最大値を取得した。C/N 比は、乾燥させた土壌を鉢と乳棒を用いてすり潰し、1 サンプル 0.5g を容器に入れ、炭素・窒素・硫黄分析装置 vario MAX cube（Elementar 社製）を用いて測定した。

（2）UAV 空撮による放牧地の NDVI 解析

K 牧場内の放牧地のうち、南側放牧地（S）、北側放牧地（N）、河川そば放牧地（R）および採草地（P）を UAV 空撮の対象とした。なお、南側放牧地（S）および北側放牧地（N）は（1）土壌および植生の基礎調査と共通の調査区であり、南側放牧地は、S1～S4 の 4 区画で NDVI 解析を行った。さらに、南側放牧地のうち牛がほとんど利用していない区画（S101）を解析に追加した。空撮に用いた機体は、P4 Multispectral（DJI 社）であり、空撮高度 80m、オーバーラップ 80%、サイドラップ 80%、カメラ角度 90 度の条件で撮影した。空撮日は、2022 年 6 月、8 月、9 月、10 月、12 月、2023 年 5 月、6 月、8 月である。空撮画像は、Pix4D mapper（Pix4D 社）を用いてオルソ画像の作成を行い、ArcGIS Pro（ESRI 社）を用いて NDVI の解析を行った。

（3）放牧地の牧草の飼料分析

UAV 空撮を行った放牧地および採草地を対象に、採草地の 1 番草および 2 番草の刈り取り直前である 2023 年 6 月 24 日および 2023 年 8 月 25 日に牧草を収穫し、牧草の飼料分析を行った。なお、飼料分析は十勝農業協同組合連合会に依頼し、一般項目（乾物率、可消化養分総量（TDN）、正味エネルギー（NE）、たんぱく質、結合たんぱく質（BP）、中性デタージェント不溶性たんぱく質（NDICP）、中性デタージェント繊維（NDF）、酸性デタージェント繊維（ADF）、酸性デタージェントリグニン（ADL）、非繊維炭水化物（NFC）、可溶性炭水化物（WSC）、粗脂肪（EE）、ミネラル（粗灰分、カルシウム、リン、マグネシウム、カリウム）、細胞内容物（OCC）、総繊維（OCW）、高消化繊維（Oa）、低消化繊維（Ob））および硝酸態窒素を分析した。

4. 研究成果

（1）土壌および植生の基礎調査

植被率は 南側放牧地の南端である区画 S1 において 50%と低く、植生が枯れ土壌が露出している箇所が散見された。また、南側放牧地では S1 から S4 にかけて植被率が高くなり、マメ科牧草の割合が増えるなどの変化が見られた。北側放牧地は南側放牧地において最も植被率が高い S4 と同程度であり、および の林間では南側と北側で植被率に大きな差はみられず、クマイザサが優先していた。

土壌調査において pH はすべての地点で 6.0～7.0 の範囲を示した。土壌 EC は 0.03～0.11mS/cm の低い値を示した。一般的な牧草地の EC と比較しても低い値であることから、更新や施肥管理を行っていない K 牧場では土壌中の栄養塩が低いといえる。

土壌 ATP は 南側放牧地の各区分で大きな差はみられなかった。また、北側放牧地と比較すると 南側放牧地において大きい傾向にある。土壌 ATP はたい肥などの有機物の施用により

増加することが報告されていることから、放牧牛による利用頻度の高い南側においてより多くの牛糞尿が還元されている可能性が考えられる。

土壌 C/N 比はすべての地点において 20 以下となったことから、放牧地に還元される牛糞尿は適切に分解されており、窒素飢餓などの問題は発生していないことが分かった。

K 牧場の放牧地では 南側放牧地の南端の区画において植生が悪化傾向にあるが、今回の調査で対象とした分析項目からはその要因を特定できなかった。南端の区画は放牧牛の滞在時間が短いことが農家の聞き取り調査からわかっている。南側放牧地以外の放牧地へ移動する際にも最も遠い位置にあることから、地理的要因によって放牧牛が滞在を嫌っている可能性も考えられている。この場合には、区画内の植生の生長に対して採食が少ないために、植生の草丈が伸びて牛の嗜好性が悪い状態になる悪循環が発生している懸念が示唆された。

(2) UAV 空撮による放牧地の NDVI 解析

ここでは、UAV 空撮を行った対象区のうち、南側放牧地全体 (S) および南側放牧地の 4 区画のうち、S1 および S4 の 2 区画、南側放牧地のうち牛の利用がほとんど見られなかった S101、北側放牧地 (N)、河川そばの放牧地 (R)、採草地 (P) について NDVI 解析の結果を報告する。

まず、各対象区の NDVI の平均値は 2023 年 6 月では 0.59 ~ 0.87、2023 年 8 月では 0.67 ~ 0.82 を示し、1 番草および 2 番草の収穫時期のいずれも採草地の NDVI が最も高い値を示した。放牧地では、南側放牧地の方が NDVI は高い傾向がみられるが、北側放牧地および河川そばの放牧地と比較して顕著な違いはみられなかった。

つぎに、NDVI のヒストグラムを図に示す。NDVI のヒストグラムは、各対象区で異なる傾向を示した。採草地 (P) では、1 番草の刈り取り時期である 6 月において NDVI が 0.85 ~ 0.90 の分布頻度が最も高く、2 番草の刈り取り時期の 8 月には 0.80 ~ 0.85 の分布頻度が最も高い。他の放牧地と比較して、NDVI の分布のばらつきは非常に小さかった。南側放牧地の S、S1 および S4 では、6 月の NDVI は 0.80 ~ 0.85 の分布頻度が最も高く、NDVI の分布のばらつきは 0.6 ~ 0.9 と比較的狭い。8 月には、NDVI のピークが 0.70 ~ 0.80 に低下し、6 月と比べると分布のばらつきが広がった。一方、河川そばの放牧地 (R) は南側放牧地とは異なる傾向を示しており、NDVI のピークは 6 月で 0.60 ~ 0.65、8 月は 0.80 ~ 0.85 と 6 月よりも 8 月の方が NDVI は高い。また、NDVI の分布のばらつきは 6 月と 8 月で大きな違いはみられない。北側放牧地 (N) は、6 月および 8 月のヒストグラムがほとんど重なっているが、8 月において 0.8 以上の分布が増加していた。南側放牧地のうち、牛がほとんど利用していない S101 では、6 月の NDVI は 0.4 ~ 0.9 の範囲に分布し、歯抜け型であるなど、NDVI のばらつきが大きい。しかし、8 月には 0.70 ~ 0.85 にピークが移動し、NDVI の分布のばらつきは若干狭くなった。

牧草収穫のために、放牧牛の侵入および採食がない採草地では、6 月および 8 月ともに NDVI の分布のばらつきが小さく、採草地内の牧草の状態が揃っていることがわかった。一方、放牧地では放牧牛の採食や牧草以外の雑草・野草などの侵入により、ひとつの放牧地内で植生の状態にはばらつきがあることが分かった。センサーカメラを用いた放牧牛の行動調査から、南側放牧地 (S、S1、S4) は、4 月 ~ 6 月ころまでは放牧牛の侵入頻度が低く、7 月以降に利用されていた。NDVI のヒストグラムは、8 月よりも 6 月の方が NDVI のピークが大きいことを示しており、8 月の空撮時には放牧牛の採食により NDVI が低下したと考えられる。一方、北側放牧地 (N) は 4 月 ~ 6 月頃までの利用頻度が高かった。北側放牧地の NDVI のヒストグラムは、6 月のピークが 0.65 ~ 0.75 示し、南側放牧地と比較して NDVI が低く、4 月 ~ 6 月の放牧地牛の採食の影響を受けていることが推察される。8 月には、0.8 以上の分布が増加しており、放牧牛が南側放牧地に移動したことで、牧草が生長したことがわかった。河川付近の放牧地 (R) は、南側放牧地および北側放牧地と比べて、4 月 ~ 9 月ころまでの利用頻度が低かった。河川付近の放牧地 (R) の NDVI は、放牧牛の採食の影響を受けず、6 月 ~ 8 月にかけての牧草の生長状態を示していると考えられた。

(3) 放牧地の牧草の飼料分析

日本飼養標準肉用牛 (2008 年版) に記載されている一般的な放牧草の粗たんぱく質、可消化養分総量、中性デタージェント繊維と K 牧場の採草地、南側放牧地 (S1、S4、S101)、北側放牧地 (N)、河川そばの放牧地 (R) の飼料分析結果を比較した。

粗たんぱく質は、牧草やマメ類などに含まれる植物性タンパク質であり、牧草での目標値は 10% 以上に設定されている。K 牧場の粗たんぱく質は、シバ・オーチャード・シロクロバーの一般的な牧草と比較して 6 月はシバと同程度もしくはそれ以下の数値を示した。ただし、粗たんぱく質の目標値の 10% はいずれの対象区でも超過していた。8 月はすべての対象区で粗たんぱく質が増加し、オーチャードおよびシロクロバーと同程度の値を示した。

可消化養分総量は飼料中に含まれるエネルギー量であり、60% 以上が目標値である。K 牧場の可消化養分総量は、66 ~ 70% の値を示し、各対象区で違いはみられず、6 月および 8 月で変化は見られなかった。また、一般的な牧草と比較すると、放牧地に用いられるシバよりも K 牧場の可消化養分総量は大きいことが分かった。中性デタージェント繊維は、牛のルーメン内で発酵消

化に時間がかかる炭水化物であり、目標値は 60% 以下である。K 牧場の中性デタージェント繊維は、いずれの対象区でも同程度の値を示し、すべての対象区で 60% 以下であった。K 牧場の放牧地では、化学肥料や農薬を使用せずに粗放的な放牧地管理が実施されており、放牧地内には牧草種だけではなく、野草や雑草の侵入が確認されている。しかし、飼料分析の結果から K 牧場の放牧牛が採食している牧草および野草・雑草の成分は、オーチャードグラスやシロクロバーと大きな差はなく、粗放的管理の放牧地に用いられることが多いシバと比較して良好であることがわかった。

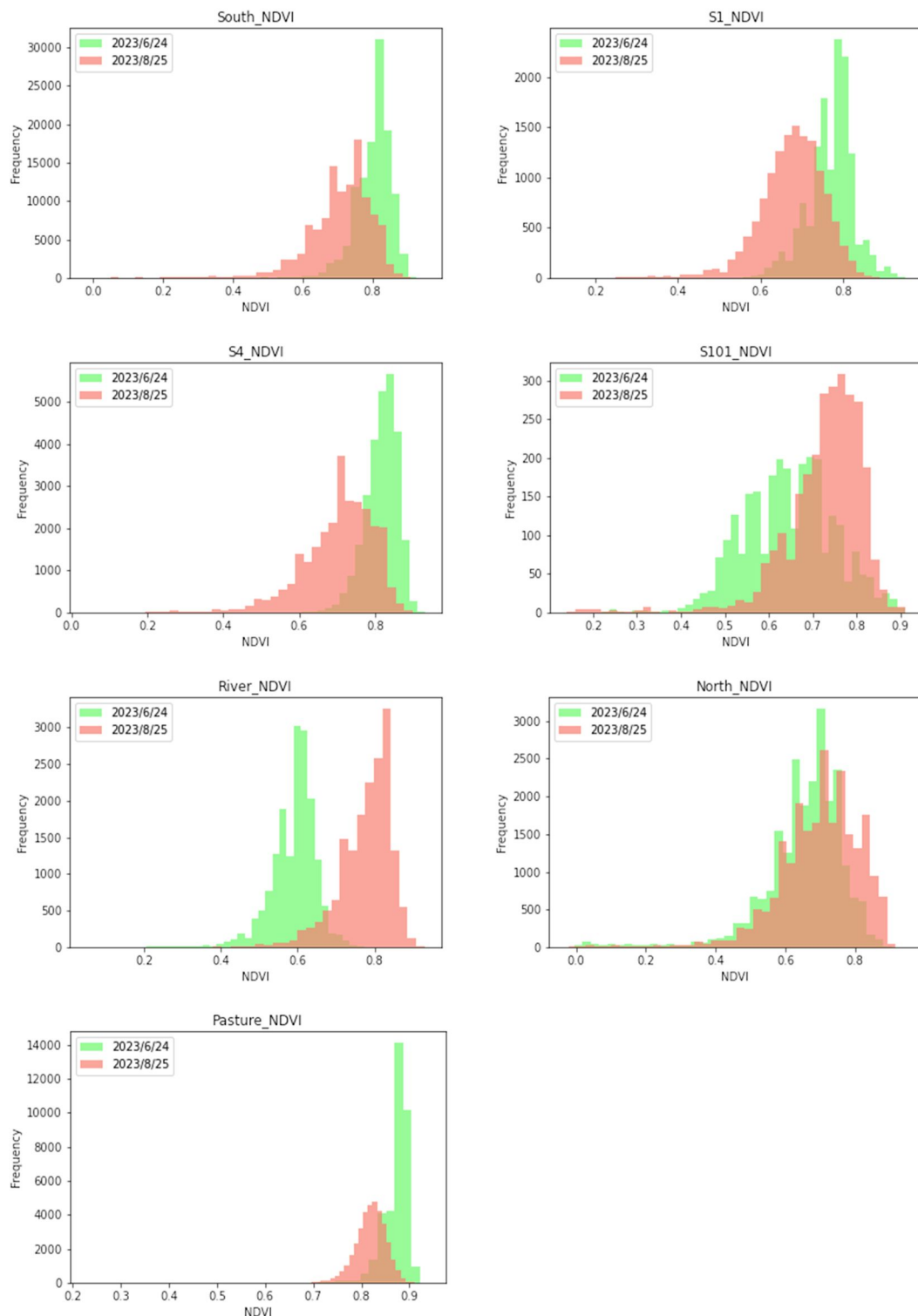


図 NDVI のヒストグラム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yuri YAMAZAKI	4. 巻 14
2. 論文標題 Physical Structure Assessment of Rivers Used by Grazing Livestock	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of Environemtnal and Rural Development	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 山崎由理
2. 発表標題 林間放牧における放牧地への環境影響評価
3. 学会等名 日本砂漠学会第33回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuri Yamazaki
2. 発表標題 Physical structure assessment of rivers used by grazing livestock
3. 学会等名 The 14th International Conference on Environmental and Rural Development（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山崎由理
2. 発表標題 センサーカメラを用いた通年林間放牧における放牧牛の行動調査
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------