

## UAV 空撮画像を用いた I $\delta$ 指数による放牧草地の 養分分布における不均一性の評価

三 枝 俊 哉<sup>1)</sup>・奥 井 達 也<sup>1)</sup>・塚 崎 顕太郎<sup>1)</sup>  
八 木 隆 徳<sup>2)</sup>・小 玉 哲 大<sup>3)</sup>・小 川 健 太<sup>4)</sup>

I $\delta$  index for evaluation of heterogeneity of distribution  
of fertilizer nutrients in grazing land.

Toshiya SAIGUSA<sup>1)</sup>, Tatsuya OKUI<sup>1)</sup>, Kentaro TSUKASAKI<sup>1)</sup>,  
Takanori YAGI<sup>2)</sup>, Norihiro KODAMA<sup>3)</sup> and Kenta OGAWA<sup>4)</sup>  
(Accepted 9 December 2020)

### 1. 緒 言

北海道における放牧草地の施肥標準では、長年にわたり、カリウムではふん尿還元をわずかに考慮するものの、窒素とリンはほぼ採草地なみの設定が続いていた（北海道農政部 2002）。その結果生産現場では、放牧草地土壌への養分蓄積傾向が指摘されおり（三浦・村川 1981）、牧草への養分蓄積と放牧家畜への悪影響も確認されてきた（三枝ら 2010）。これを改善するため、2008 年によく、窒素、リン、カリウムのいずれについても採食量とふん尿排泄量が定量的に考慮され、大幅に低減された新たな標準施肥量が設定された（北海道農政部 2010；三枝ら 2014）。この技術は、搾乳牛の放牧専用草地における昼夜放牧に近い放牧条件で構築されたが（三枝ら 2014）、その後 Okui ら（2020）により肉牛や育成牛放牧草地、時間制限放牧など多様な放牧条件にも適用できることが確認された。

上記の施肥技術は、牧区単位での養分収支に基づくため、牧区内では採食とふん尿排泄がまんべんなくおこなわれると仮定している。しかし、実際の放牧草地における採食とふん尿排泄は放牧家畜の行動に依存し、牧区内における土壌養分含量の不均一性が大きくなりやすい（平林ら 1986；井出ら 1998；山田ら 2011, 2012）。山田（2016）は、ふん尿還元の偏

りが著しい傾斜放牧草地では、被覆尿素を年 1 回、ふん尿還元量の少ない地形面だけに施肥することにより、従来の慣行肥料年 2 回全面施肥よりも低い施肥コストで、同等の放牧実績を得ることを明らかにした。このような対応は、傾斜放牧草地だけでなく、牧区の形状や放牧施設の配置等の原因で不均一性の高い牧区でも有効と考えられる。しかしその技術適用の判断には、牧区内における養分分布の不均一性を評価する指標が必要である。

今まで、我が国の草地における不均一性の評価では、草種構成の空間変動を対象に、個体群生態学の手法を用いた研究が展開されてきた（Morisita 1959；Shiyomi et al 2000）。土壌養分分布についてはふん尿排泄地点の分布調査（井出ら 1998, 山田ら 2011, 2012）やダイナミックモデルを用いたシミュレーション（袴田 1986）などがおこなわれているが、施肥管理技術の適用に結びつく具体的な指標は、現在まで提示されていない。そこで本研究では、個体群生態学の代表的な手法のひとつである森下（1979）の I $\delta$  指数に注目し、排ふん過繁地を含む排ふん地点の空間分布様式の分類と不均一性の評価を試みる。I $\delta$  指数（Morisita 1959）は、牧区内を格子状に区切り、各格子内の排ふん地点数を計測して I $\delta$  指数を求め、格子の大きさを変化させることで I $\delta$  指数の変化の様式を類型区分する手法である。広い牧

1) 酪農学園大学農食環境学群循環農学類草地・飼料生産学研究室

Grassland management and forage production laboratory, Department of Sustainable Agriculture, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University

2) 農研機構北海道農業研究センター

Hokkaido Agricultural Research Center, NARO, Hokkaido, Japan

3) 株式会社フォテック

PHOTEC Inc.

4) 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類環境空間情報学研究室

Environmental Geometric Laboratory, Department of Environmental, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University



図1 平坦な育成牛放牧草地の牧区配置（北海道農業研究センター）  
赤枠はIδ指数解析対象範囲

区内で排ふん地点数を地上計測するには多大な労力を要する。そこで、本研究では無人航空機（以下、UAV）の空撮により、コンピュータ画面上で排ふん地点数を計測によることで、調査作業の軽労化を試みた。

## 2. 材料と方法

### （1）供試草地および供試牧区

平坦な放牧草地として、北海道札幌市豊平区の北海道農業研究センター（以下、北農研）24号圃場（黒ボク土）に造成されたケンタッキーブルーグラス・シロクローバ混播の放牧専用草地 A1（2010年造成）、A2（2012年造成）、B（1996年造成）を供試した（図1）。各草地の面積は0.625 haで、供試草地 A1 と A2 を通路でつなげて A 牧区とした。供試草地 B は全体を1牧区とし B 牧区と呼ぶ。こうすることで、放牧牛が群れる性質を利用し、A1、A2 牧区では B 牧区近傍、B 牧区では A1 または A2 牧区近傍における放牧牛の滞在時間を増やし、各牧区でふん尿排泄地点の偏りが生じることを期待した。いずれも2015年と2016年に調査に供試した。このうち、A2 牧区と B 牧区は草地造成翌年から放牧利用を続けてきたので、2015年における放牧利用年数はそれぞれ3年目と19年目である。これに対し、A1 牧区は2014年に放牧せず掃除刈りで管理しているため、2015年は放牧を再開して1年目であった。

一方、傾斜放牧草地として、北海道二海郡八雲町に位置する八雲町育成牧場（以下、八雲牧場）の1

牧区（黒ボク土）を2017年と2018年に供試した（図2）。供試草地は、寒地型イネ科牧草を主体とする放牧専用の経年草地である。片側斜面全体の面積は約1 ha であるが、Iδ 指数の解析には方形の区画が望ましかったので、上部、下部の比較的平坦な部分と、中間の傾斜面を含めた0.65 ha を供した（図2 赤線枠内）。

### （2）供試牛

平坦な放牧草地である北農研の A 牧区には月齢12ヶ月以上の育成後期群が連続放牧された。放牧開始時の体重が約400 kg/頭で、放牧頭数は3頭である。同 B 牧区には月齢6ヶ月未満の育成前期群が連続放牧された。放牧開始時の体重は約200 kg/頭で、放牧頭数は3頭である。これにより面積当たりの放牧体重は育成前期群、育成後期群ともにほぼ等しい。一方、八雲牧場の傾斜放牧草地には日本短角種繁殖牛が全日輪換放牧された。

### （3）調査項目

#### 1) UAV による空撮と画像解析

2015年と2016年にはいずれも11月に、2018年は5月と10月に各牧区を UAV で空撮し、合成して牧区全体の空撮画像を得た。撮影条件は以下のとおりである。

#### ①北農研（2015年および2016年）

2015年11月2日と2016年11月17日に撮影をおこなった。撮影には、DJI 社の Phantom3 を使用

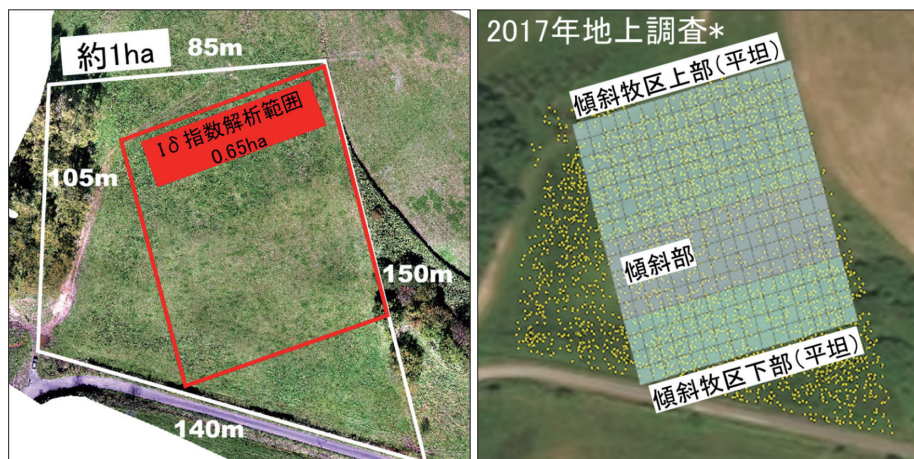


図2 傾斜放牧草地の調査区域（八雲町育成牧場）  
赤枠は Iδ 指数解析対象範囲

\*2017 年地上調査では新鮮ふんおよび排ふん過繁地の位置を地上調査で GPS の位置座標を取得し、ArcGIS に入力した（右図、黄色い点）。また、Iδ 指数解析時には上部、下部、傾斜の平均斜度を考慮しながら面積が等分になるようにメッシュをかけ、全体で 16×16 の 256 ブロックに区分した。

した。撮影対象とした 3 牧区の総面積は 1.875 ha であり、飛行高度は 2015 年 11 月 2 日 50 m, 2016 年 11 月 17 日 60 m に設定した。1 画素のサイズは約 2 cm であった。飛行計画の作成及び自動飛行には、Pix4D 社 Pix4Dcapture を使用した。飛行に要する時間は約 10 分であった。それぞれ撮影日に 70～80 枚の画像を撮影し、SfM (Structure from Motion) 処理ソフトウェア (Pix4D 社 Pix4Dmapper) を用いて対象圃場全体のオルソ画像を作成した。

## ②八雲牧場

2017 年は UAV による空撮はおこなわず、地上で新鮮ふんと排ふん過繁地の中心座標を携帯型 GPS (GARMIN eTreX 20xJ) で直接計測し、緯度経度を記録した（図 2、黄色点）。UAV による空撮は、2018 年の 5 月 30 日と 10 月 19 日におこなった。撮影には、Ricoh GR カメラを搭載したフォテック社製の UAV を用いた。飛行高度は両日とも 40 m に設定した。1 画素のサイズは約 1 cm であった。それぞれ撮影日におよそ 180 枚の画像を撮影し、SfM 処理ソフト (Agisoft Metashape) を用いて対象圃場全体のオルソ画像を作成した。その結果、5 月の空撮画像は草量が多く、新鮮ふんや排ふん過繁地を同定しにくかったため、解析には 10 月の画像を供試した。

### 2) Iδ 指数による排ふん地点の分布分類

空撮画像において、地上に露出した「ふん」と、その後草に覆われた排ふん過繁地を排ふん地点と見なし、ArcGIS の画面上で、目視で排ふん地点の位置を記録した。各牧区それぞれ排ふん過繁地と、新

鮮ふんを別々に標識した。集計は次のようにおこなった。まず、画面上で各牧区を 16×16=256 に分割した格子画像を作成した。このとき傾斜放牧草地の傾斜部分においては、平均斜度を用いて格子の面積が等しくなるように傾斜方向の間隔を調整した。各格子内に記録されたふんと排ふん過繁地の数を計測、集計した。その後、格子の大きさを 64 分割 (8×8)、16 分割 (4×4)、4 分割 (2×2) と拡大し、それぞれの集計値による Iδ 指数を以下のように算出した。

$$I_{\delta} = q \sum_{j=1}^q x_j (x_j - 1) / \sum_{j=1}^q x_j (\sum_{j=1}^q x_j - 1)$$

$q$ : 区画数

$x_j$ :  $j$  番目の区画内の個体数

1 つの格子の面積変化に伴う Iδ 指数の反応から、対象とする個体の分布を集中分布、一様分布および機会分布に 3 区分した（図 3）。

### 3) 土壌養分含量の牧区内分布

北農研の A 牧区と B 牧区では、2015 年の放牧後（10 月 28 日）と 2016 年の放牧後（10 月 25 日）に、次のように土壌採取をおこなった。各牧区を 5×10 の 50 区画に区切り各区画内で偏りがないように表土 0-5 cm の土壌を 5 か所採取し、袋に入れまとめて混合することで 1 区画のサンプルとした。

八雲牧場の傾斜放牧草地では、2017 年 10 月 3 日と 2018 年 11 月 6 日に、次のように土壌採取をおこなった。牧区内を 8×9=72 区画に分け、各区画内に固定地点 4 点を設定した。表土 0-5 cm の土壌を



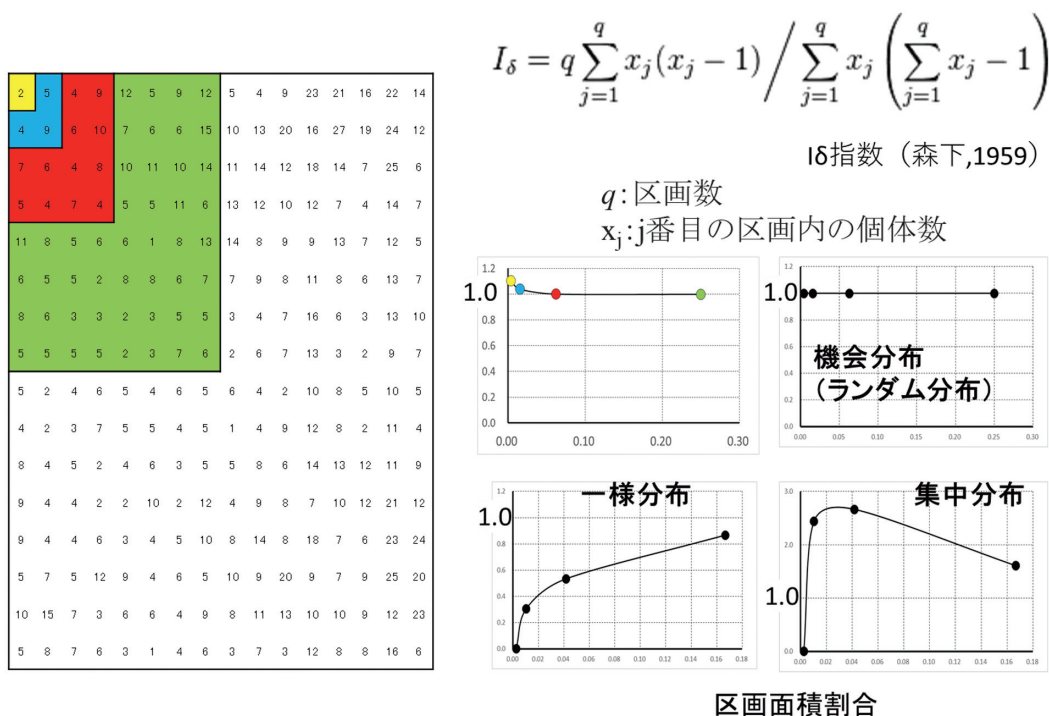


図3 I $\delta$ 指数による排ふん地点の分布様式判別法

固定地点1地点につき5個採取し、袋に混合して1点とした。こうして得た1区画につき4点の分析値を平均し、各区画の代表値とした。

採取した土壌は、いずれもガラス室にて風乾し、2 mm のふるいに通した風乾砕土にして、分析に供した。

土壌分析は常法(柳原ら 2012)に準拠した。土壌 pH (H<sub>2</sub>O) はガラス電極法で測定した。培養窒素は畑土壌の保温静置法に従い、最大容水量の 60% の水分で、30℃ 4 週間培養した。培養終了後は、10% 塩化カリウム溶液で抽出し、抽出液のアンモニア態窒素と硝酸態窒素の濃度をフローインジェクション法(酒井 2004)で定量した。有効態リンはブレイ No.2 法に従った。土:液比 1:20 で 1 分間振とう後、抽出液のリン濃度をモリブデンブルー発色法で比色定量した。交換性陽イオンは 1M 酢安抽出法により、抽出液のカリウム、カルシウムおよびマグネシウム濃度を原子吸光光度法で定量した。

### 3. 結果および考察

#### (1) 新鮮ふんおよび排ふん過繁地の分布状況

北農研の牧区において、I $\delta$  指数による分布様式解析のために空撮した画像に新鮮ふんおよび排ふん過繁地を標識した個数は、2015 年 11 月では A1 牧区 530 個(新鮮ふん 133 個、排ふん過繁地 397 個)、A2 牧区 587 個(同 81 個、506 個)、B 牧区 2149 個

(同 485 個、1664 個)であった。2016 年 11 月では A1 牧区 2201 個(同 1183 個、1018 個)、A2 牧区 1625 個(同 726 個、899 個)、B 牧区 1876 個(同 709 個、1167 個)であった。一方、八雲牧場の傾斜放牧草地における新鮮ふんと排ふん過繁地の標識数は 2017 年 10 月 2554 個、2018 年 10 月 1941 個であった。放牧草地における排泄ふん尿の分布が土壌養分含量の空間分布に大きく影響すると考え、新鮮ふんと排ふん過繁地を合計した値で I $\delta$  指数による解析をおこなった。北農研の平坦な放牧草地における解析結果を図 4 に、八雲牧場の傾斜放牧草地の結果を図 5 に示す。

北農研の牧区における排ふん地点の分布ではいずれも集中分布であったが、その集中度は牧区と年次で異なった。2015 年における A1 牧区の I $\delta$  指数は最大約 1.2 となったが、翌年には A2 牧区や B 牧区と同様に最大 1.1 未満の機会分布に近い集中分布になった。A1 牧区では 2014 年に放牧が中止され、1 年間掃除刈りによる草地管理がおこなわれた。これにより、それまでの排ふん過繁地はほぼ消滅したものと想像できる。A1 牧区の地形は平坦で、牧区の形状も不定形ではない。庇陰舎と飲水施設は A1、A2、B 牧区ともに長方形の牧区の短辺に規則的に配置されている(図 1)。このように、放牧牛の行動を規制する要因が少ない牧区で、前年までの排ふん過繁地が消滅すると、放牧牛の行動は極めて自由とな

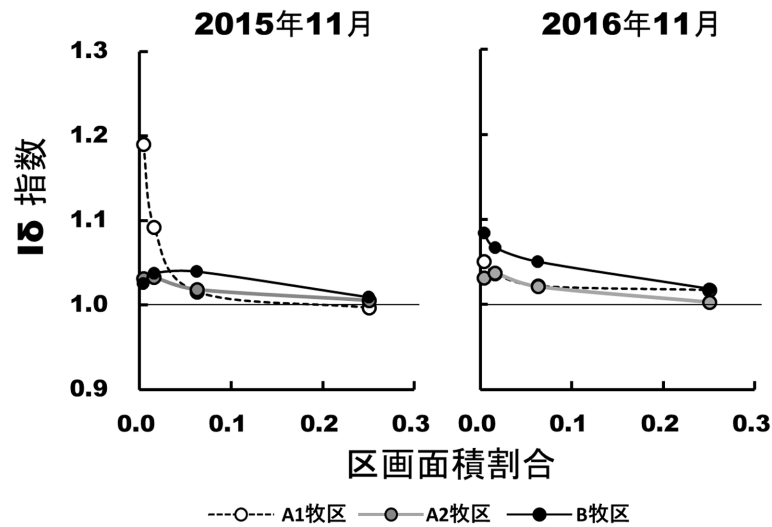


図4 平坦な放牧草地（北農研）における新鮮ふんおよび排ふん過繁地の分布様式

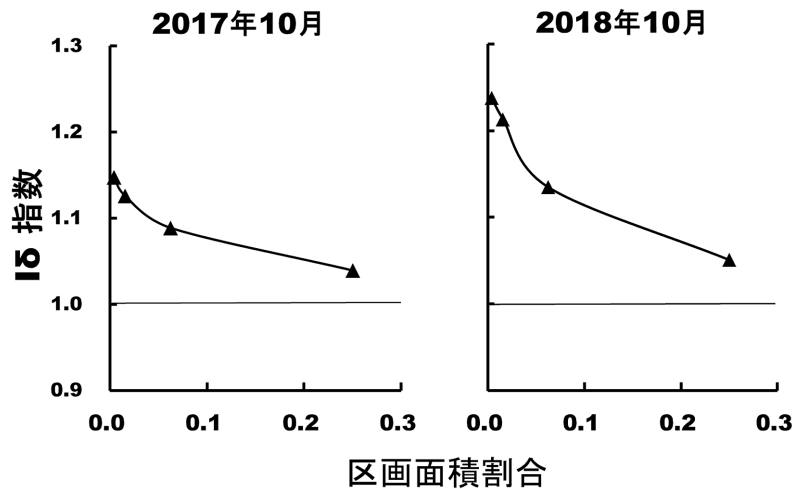


図5 傾斜放牧草地（八雲牧場）における新鮮ふんおよび排ふん過繁地の分布様式

る。排ふん地点は急激には増えないので、牧区全体にまんべんなくふん尿排泄が行き渡るまでの間は、ふん尿排泄地点の分布の集中度は高く維持されると考えられる。その後、放牧利用2年目からのA1牧区のI $\delta$ 指数は、A2牧区やB牧区と同様の様相を示した。放牧利用2年目のA1牧区（2016年）、同3年目のA2牧区（2015年）および19-20年目のB牧区（2015-2016年）のI $\delta$ 指数の様相が類似していたことから、放牧利用2年目になれば、その牧区の特徴が反映された分布様式に落ち着くことが期待される。なお、放牧利用2年目におけるA1、A2およびB牧区におけるI $\delta$ 指数の最大値はいずれも1.1未満で機会分布に近い集中分布となったことから、A1牧区とA2牧区がB牧区を囲む牧区配置がふん尿排泄の偏りに及ぼす影響は、当初の期待よりも小

さいと思われた。

一方、八雲牧場の傾斜放牧草地におけるI $\delta$ 指数の最大値は、2017年、2018年ともに1.1を超えており、平坦な北農研の供試草地よりも集中度の高い分布が安定的に観測された。このことから、放牧利用2年目以降であることを観測条件とすることにより、I $\delta$ 指数の最大値が放牧草地における養分分布の集中度の指標となる可能性が期待された。

## （2）土壌養分分布状況

前述のように、I $\delta$ 指数は排ふん地点の分布様式とその集中度を示す指標となることが期待できた。この手法で排ふん地点の分布の集中度が大きく、土壌養分分布の偏りが著しいと推定された牧区では、ふん尿還元量の少ない部分のみ施肥する技術（山田

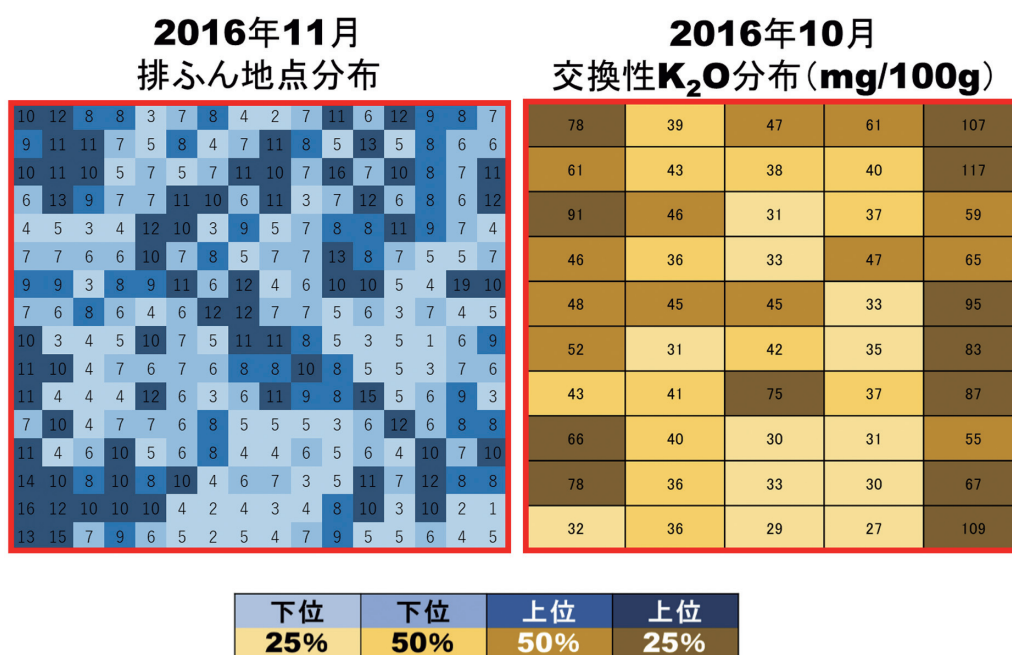


図6 平坦な放牧草地（北農研B牧区）における排ふん地点と土壤中交換性カリウム含量の分布  
赤枠はIδ指数解析対象範囲

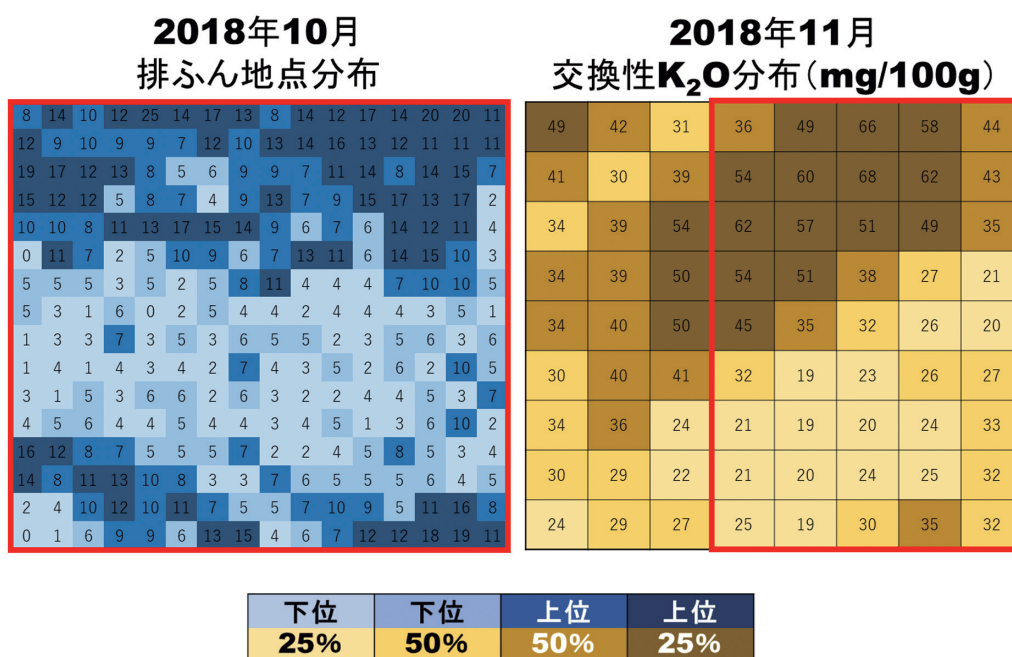


図7 傾斜放牧草地（八雲牧場）における排ふん地点と土壤中交換性カリウム含量の分布  
赤枠はIδ指数解析対象範囲

2016) が有効と考えられる。ただし、この技術は、当該部分が常に貧栄養である場合に有効であり、牧区内でふん尿還元量の多い部分と少ない部分が頻繁に入れ替わるような条件には適用しにくい。そこで、Iδ指数で集中度が高いと判断された牧区では、土壤養分含量の分布にも偏りが大きく、その入れ替

わりも少ないといえるか否かを検討したい。

まず、排ふん過繁地を含む排ふん地点の分布と土壤養分含量の分布の対応事例を図6および図7に示す。排ふん地点数の多い部分では交換性カリウム含量の高い場合の多いことがうかがわれた。ここで、交換性カリウム含量を例として、北海道施肥ガイド

### 2016年10月 平坦な放牧草地(図6より)

78	39	47	61	107
61	43	38	40	117
91	46	31	37	59
46	36	33	47	65
48	45	45	33	95
52	31	42	35	83
43	41	75	37	87
66	40	30	31	55
78	36	33	30	67
32	36	29	27	109

### 2018年11月 傾斜放牧草地(図7より)

49	42	31	36	49	66	58	44
41	30	39	54	60	68	62	43
34	39	54	62	57	51	49	35
34	39	50	54	51	38	27	21
34	40	50	45	35	32	26	20
30	40	41	32	19	23	26	27
34	36	24	21	19	20	24	33
30	29	22	21	20	24	25	32
24	29	27	25	19	30	35	32

カリウムの土壌診断に基づく施肥対応*	基準値未満	基準値	基準値以上	
交換性カリウム含量(mg/100g)	26未満	26～32	32～70	70以上
カリウムの施肥対応	1.5倍	標準	半量	無施肥

図8 区画ごとの土壌中交換性カリウム含量に基づく施肥対応

\* 北海道施肥ガイド 2015 より(北海道農政部 2015)

(北海道農政部 2015) に従い、分析値に基づく施肥対応を区画ごとに算定し、図8に示した。Iδ 指数による評価では機会分布に近かった北農研の放牧草地では、全50区画中33区画(66%)が標準施肥量の半量でよい土壌養分含量を示した。他には、標準量のカリウム施肥を要する区画が7区画、カリウム無施肥でよい区画が10区画認められたが、いずれも出現位置がばらばらで面的な広がりを欠いたため、機械作業による部分的な施肥量の調節は困難と考えられた。これに対し、八雲牧場の傾斜放牧草地では、標準施肥量の半量に減肥してよい区画と、標準から5割増肥を要する区画がそれぞれ面的な広がり有しており、機械施肥による調節が可能と思われた。このように、Iδ 指数によって集中度が高いと評価された放牧草地では、実際に機械作業で調節可能と期待できる程度の空間的広がりをもって、土壌養分含量の変異が観測された。

次に土壌養分含量の偏りの継続性について評価するため、北農研と八雲牧場で1年目と2年目の土壌養分含量の関係を図9と図10に示した。北農研の平坦な放牧草地はA2牧区の有効態リンと各牧区の交換性カリウム含量に有意な相関関係が認められたが、相関係数の値は高いとはいえなかった。また、相関係数が有意でない場合も多く、牧区内において土壌養分含量の高い区画と低い区画が1年の間で入

れ替わりつつあることが示唆された。これに対し、八雲牧場の傾斜放牧草地では北農研よりも高い相関係数が得られ、窒素、有効態リン、交換性カリウムとも有意になった。すなわち、Iδ 指数で集中度が高いと評価されたこの牧区では、土壌養分含量の高い部分は翌年も高く、低い部分は翌年も低いというように、土壌養分含量の空間変動が固定化されている傾向が認められた。

### (3) Iδ 指数の有効性

本研究ではIδ 指数によって放牧草地内の排ふん地点の分布の偏りを評価した。ふんの養分は時間をかけて土壌に移行するので、排ふん地点の分布は土壌養分含量の分布を直接示しているわけではない。それにもかかわらず、Iδ 指数で集中度が高いと推定された牧区では、牧区内の土壌養分含量が変異に富み、また、その偏りはより固定的であった。その理由は次のように解釈できる。

排ふん地点の分布が集中分布で、集中度が高い時には、放牧家畜の採食場所と休憩・排ふん場所の区別が明確になっていることが多いと予想できる。採食ばかりでふん尿が排泄されなければ、土壌養分含量は減少する。反対に、休憩や排泄ばかりで採食されなければ、土壌養分は蓄積する。すなわち、ふん尿排泄地点の集中度が高い牧区ほど土壌養分含量の



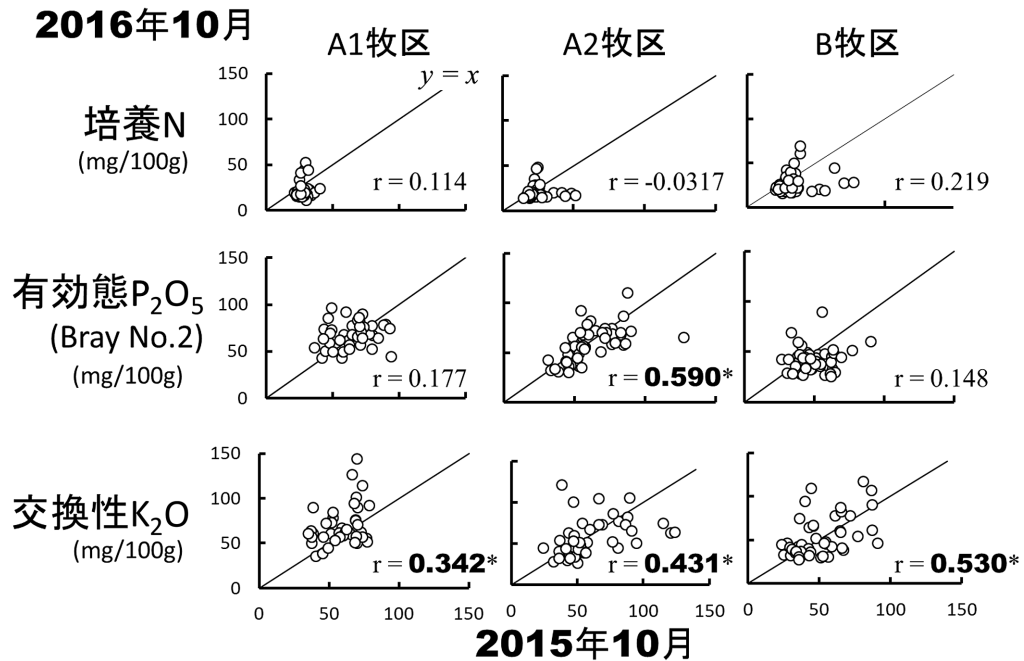


図9 平坦な放牧草地（北農研）の1年目と2年目における土壌養分含量の関係  
\*  $P < 0.05$  で有意

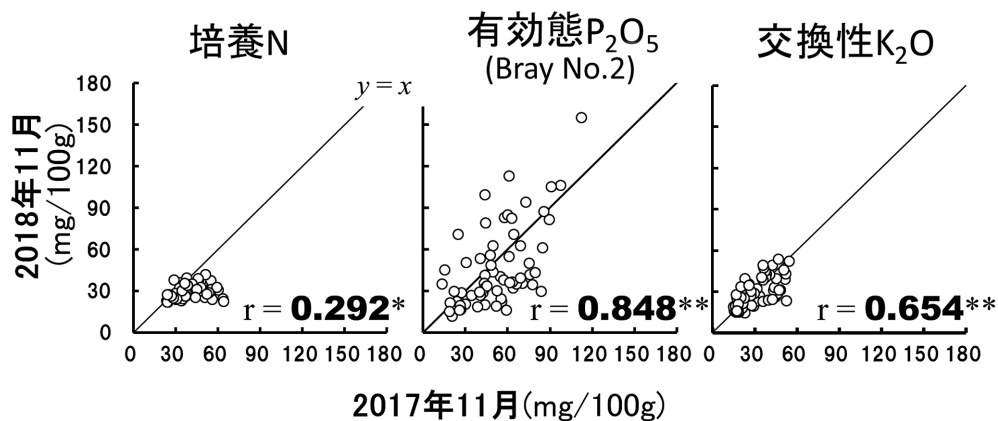


図10 傾斜放牧草地（八雲牧場）の1年目と2年目における土壌養分含量の関係  
\*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$  でそれぞれ有意

変動が大きくなることには、必然性があると考えられる。次に、ウシの放牧草地で排ふん地点の集中度が高いときは、地形、水飲み場や出入口等の施設配置、庇陰林の場所などの寄与が考えられる（袴田1986；井出ら1998；山田ら2011, 2012）。水飲み場には移動式の機材もあるが、多くの場合これらは土地や施設に付随する。そのような牧区の条件が牛群の行動に偏りを生じさせる場合には、排泄ふん尿の偏りに由来する土壌養分含量の偏りもまた、固定化しやすいと考えられる。

このように、牧区内における土壌養分分布の偏り

の大きさを、そこに排泄される排ふん地点の不均一性を通して評価することに一定の合理性が想定でき、本研究の調査でもそれに対応した結果を得ることができた。土壌養分含量の偏りを直接把握しようとする、1つの牧区で多くの土壌を採取し、分析する必要がある。しかし、排ふん地点の分布から土壌養分含量の分布を推定できるのであれば、多くの土壌を採取し分析するよりも、放牧後に空撮写真をパソコンで拡大して排ふん地点を数える方が、はるかに速やかで省力的である。I $\delta$ 指数はその評価法として有効性を期待できた。なお、図4では平坦な



牧区でも放牧利用 1 年目には排ふん地点分布の集中度が高かった。したがって、I $\delta$  指数による判定も、圃場管理台帳によって放牧履歴を照会するか、1 年後に再撮影するなどの確認が必要である。

#### (4) 技術化に向けて

今後 I $\delta$  指数を放牧草地における養分分布の不均一性評価の指標とするための課題として、方法論の確定と基準値の設定があげられる。I $\delta$  指数の最大値は、最小の計測区画の面積割合、すなわち調査圃場を何等分に区画するかによって異なる。その適正な区分数を明らかにした上で、偏り具合の異なる多くの牧区を調査し、施肥対応が必要となる閾値を設定する必要がある。

また、目視による標識作業は 1 ha 当たり約 1 時間を要する。AI 技術などを活用し、排ふん過繁地やふんの自動識別(吉利ら 2015)が技術化されれば、近年 GPS の精度が高まっている衛星画像の活用によって、飛躍的な省力化が期待できる。

I $\delta$  指数によって放牧草地の不均一性を評価する技術の実用化には課題が多いが、今後の省力的で持続的な土壌養分管理技術の有効な素材の 1 つになると思われる。

## 4. 要 約

本研究では放牧草地における養分分布の不均一性を評価する手法を開発するため、平坦な牧区と傾斜のある牧区を供試し、UAV で空撮した牧区の画像によって排ふん地点を目視で標識し、その地点数を計測した。その結果を集計して I $\delta$  指数を求め、牧区内における排ふん地点の分布様式を分類した。さらに、I $\delta$  指数による評価値と土壌養分含量の偏りを比較した。平坦な牧区と傾斜牧区における排ふん地点の分布は、いずれも集中分布であったが、その集中度は後者で大きかった。土壌養分分布を比較した結果、前者では土壌養分含量の高い地点と低い地点の多くが 1 年で入れ替わり、後者ではおおむね維持されていた。ふん中の養分は時間をかけて土壌に移動するので、排ふん地点の分布は土壌養分含有量の分布を直接示すものではない。しかし、排ふん地点の集中度が高い牧区では、放牧牛の採食場所と排泄場所の区別が明確になり、土壌養分含有量の変動が大きくなる。また、そのような牧区では地形、水槽、出入り口、庇陰林の配置など、土地や施設に関連する条件が牛の行動に偏りを引き起こすため、土壌養分含有量の偏りが固定化しやすい。このように、排ふん地点の不均一性を通じて牧草地の土壌養

分分布の偏りを評価することには合理性が認められる。したがって、I $\delta$  指数による牧区内の排ふん地点分布の解析は、土壌養分分布の不均一性を評価する指標として期待できた。

## 5. 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、育成牛放牧管理にご協力いただいた農研機構北海道農業研究センター酪農研究領域および八雲町育成牧場関係各位、さらに放牧草地の空撮画像解析でご指導頂いた酪農学園大学川村真也博士(現中部大学中部高等学術研究所国際 ESD 研究員)に謝意を表する。

## 6. 引用文献

本稿は奥井達也(2019)の修士論文「ウシ放牧草地の養分循環に基づく施肥管理に関する研究」の一部に内容を追加編集し、とりまとめたものである。本研究の一部では、2015 年度学内共同研究の研究費を使用した。

- 袴田共之(1986)放牧草地における乳用育成牛排泄物の肥料的評価に関する研究. 北海道立農業試験場報告 55: 1-88
- 平林清美・松中照夫・近藤 熙(1986)草地土壌診断における土壌採取法について. 北海道草地研究会報 20: 163-166
- 北海道農政部(2002)北海道施肥ガイド. 北海道農政部, 札幌, p 202-229
- 北海道農政部(2010)北海道施肥ガイド 2010. 北海道農政部, 札幌, p 189-221
- 北海道農政部(2015)北海道施肥ガイド 2015. 北海道農政部, 札幌, 197-229
- 井出保行・小島 誠・林 治雄(1998)傾斜放牧草地の地形と草地管理 1. 裸地と排糞の分布. 日本草地学会誌 44(3): 208-214
- 三浦俊一・村川栄太郎(1981)植生および土壌からみた放牧地と採草地の比較. 畜産の研究 35(12): 1499-1501
- Morisita, M (1959) Measuring of dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser E (Biol) 2: 215-235
- 森下正明(1979)森下正明生態学論集二巻. 思索社, 東京, p 169-175
- Okui T, Yagi T, Yamada K, Niwa Y, Asai K, Kumagai T, Yoshida Y, Hori K, Ugaki R, Yamashita S, Kato Y, Tsukasaki K, Saigusa T.

- (2020) Nutrient dynamics under different regimes of stocking and cattle type of temperate pastures in Hokkaido, Japan. *Grassl Sci* 00: 1-16. <https://doi.org/10.1111/grs.12290>
- 三枝俊哉・西道由紀子・大塚省吾・須藤賢司 (2014) 北海道の乳牛集約放牧草地における養分循環に基づく施肥適量. *日本草地学会誌* **60**(1): 10-19
- 三枝俊哉・手島茂樹・小川恭男・高橋 俊 (2010) 北海道における省力的放牧草地としてのケンタッキーブルーグラス (*Poa pratensis* L.)・シロクロローバ (*Trifolium repens* L.) 混播草地の適性評価: 3. 標準施肥条件の短草型草地における養分蓄積過程と減肥の効果. *日本草地学会誌* **55**(4): 318-325
- 酒井忠雄 (2004) 分析化学実験の単位操作法. 朝倉書店, 東京, p 148-153
- Shiyomi M, Takahashi S, Yoshimura J. (2000) A measure for spatial heterogeneity of a grassland vegetation based on the beta-binomial distribution. *J Veg Sci* 11: 627-632
- 山田大吾・東山雅一・山口 学・渋谷 岳・進藤和政・手島茂樹 (2011) 傾斜放牧草地における牛の排ふん回数とふん由来養分の空間分布. *日本草地学会誌* **57**(3): 129-135
- 山田大吾・東山雅一・山口 学・渋谷 岳・進藤和政・手島茂樹 (2012) 傾斜放牧草地における牛の排尿と尿由来養分の空間分布. *日本草地学会誌* **58**(3): 146-152
- 山田大吾 (2016) 傾斜放牧草地における省力化と省資源化を可能とする新たな施肥法. *日本草地学会誌* **61**(4): 248-251
- 柳原哲司・中津智史・日傘裕治・古館明洋・杉川陽一・松本武彦・小野寺政行 (2012) 土壌・作物栄養診断のための分析法 2012. 社会福祉法人北海道リハビリター, 札幌, p 117-151
- 吉利怜奈・川村健介・林 志紘・弓場憲生・安田泰輔 (2015) UAV 空撮画像から放牧地の牛糞は検出可能か?. *日本草地学会誌* **61**(別): 7
- 引用方法: 日本草地学会誌に準ずる

### Abstract

To develop a method for assessing the heterogeneity of nutrient distribution on grazing land, we tested the  $I\delta$  index. Aerial photographs of three flat pastures and one sloping pasture were taken by unmanned aerial vehicle to record the distribution of dung excretion points for two years. The points were confirmed by eye and mapped in GIS software. The  $I\delta$  index classified the distribution patterns of the excretion points as concentrated, uniform, or random. The distribution patterns on both flat and sloping pastures were concentrated, the latter being more so. That on the flat pasture changed one year later, but that on the sloping pasture changed little. Since the nutrients in the dung enter the soil over time, the distribution of the excretion points does not directly indicate the distribution of soil nutrients. However, on pastures where the distribution pattern is concentrated, grazing sites are clearly distinguishable from excretion points, and thus the variation in soil nutrient content is large. On such pastures, site conditions such as topography, placement of water tanks and gates, and locations of shelter woods influence cattle behavior, biasing the soil nutrient content. Thus, it is rational to evaluate the bias of soil nutrient distribution in pastures through the heterogeneity of excretion points, which the  $I\delta$  index can do.