

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K08062

研究課題名(和文)半自然草地における放牧家畜の栄養摂取の経時モニタリング

研究課題名(英文)Monitoring foraging behavior in grazing ruminants in a semi-natural grassland

研究代表者

八代田 真人(Yayota, Masato)

岐阜大学・応用生物科学部・教授

研究者番号：30324289

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)：放牧家畜の採食植物種を経時的にモニタリングする方法を開発することを目的に、動物の頭部に加速度・角速度センサを装着し、その動きの違いを機械学習により分析することで、採食植物種の識別を試みた。形態の異なる4種の植物種(叢生型、匍匐型、ロゼット型、直立型)をヤギに採食させた。センサ各軸の振動データと動物の体重を説明変数とし、決定木・ランダムフォレスト・サポートベクターマシン・ニューラルネットワークを用いて判別精度を比較した。その結果、左右および上下方向の加速度と動物の体重を説明変数とし、ランダムフォレスト法を用いることで、95%の精度で採食行動から植物種の識別が可能なが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多種多様な植物で構成される半自然草地は、家畜生産の場としてだけでなく、生態系サービスを提供する場としても重要である。半自然草地の利用および保全には、放牧した家畜がいつ、どこで、なにを、どれだけ摂取したかを知ることが、植物の種構成および量に直接影響するため、大きな役割を果たす。本研究は、加速度センサと機械学習を用いることで、これまで技術的に難しかった放牧家畜の採食植物の種類を採食行動から識別可能であることを初めて示した。本研究の成果とGPS/GISを組み合わせることで、放牧家畜による半自然草地の利用状況を経時的にモニタリングする可能性が高まり、利用と保全をより効果的に行うことが期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to monitor and identify characteristics bite pattern when animals ingest plant species with different morphology, using a multi axis logger and machine learning technique. Six goats, which were attached a multi axis acceleration and gyro sensor to their forehead, ingested four plant species with different morphology (tufted type, creeper type, rosette type, and erect type). We used oscillation data in each axis and body weight of goats as explanatory variables and compared decision tree, random forest, support vector machine and neural network technique to identify ingested plant species. The results suggested that using random forest technique with acceleration of left-right and up-down directions and body weight can clearly identify the ingested plant species with over 95% accuracy.

研究分野：草地畜産学

キーワード：放牧 精密畜産 採食行動

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

多種多様な植物で構成される半自然草地は、世界的に家畜生産の場として利用されているだけでなく、気候調整や水量調整、生物多様性の維持、観光などの「生態系サービス」を提供する場として極めて重要である。日本国内では家畜の健康や福祉への配慮、および放棄林地・農地の再活用といった点から放牧の再活用が期待されているが (Sato 2005), 半自然草地は単なる家畜生産の場としてだけでなく、生態系サービスを提供する場として利用と保全の両立がなされなければならない。

半自然草地の利用および保全には、放牧した家畜がいつ、どこで、なにを、どれだけ摂取したかを知ることが、植物の種構成および量に直接影響するため、大きな役割を果たす (Carvalho 2013)。このため、放牧家畜の採食行動や採食量をモニタリングしようという試みは比較的古くから試みられているが、摂取した植物の種類や量を識別・定量するには技術的に大きな壁があった (Penning and Rutter 2004)。近年、情報通信技術の著しい発達に伴い、小型で軽量のウェアラブルセンサが次々と開発され、これらのセンサで得た情報をもとに動物の行動を計測するバイオロギングと呼ばれる方法が注目を浴びている (バイオロギング研究会 2009)。この方法は、畜産分野でも取り入れられつつあり、舎飼の家畜を中心に精密家畜個体管理システムの開発が進められているが、放牧管理にも活用することで放牧家畜の採食行動をより詳細に捉え、半自然草地の利用と保全に大きく役立つことが期待できる。

### 2. 研究の目的

放牧家畜の採食行動をモニタリングする試みは古くから行われている (Penning and Rutter 2004)。従来の方法は、動物が植物を口で捕捉する際のバイト (bite) と呼ばれる顎運動の発現回数を記録するものであり、摂取した植物種の識別や量を測定することはできなかった。この課題を克服するため、半自然草地においてイネ科草本や広葉草本、灌木など植物のタイプごとに動物のバイトの様式をコード化し (bite coding), そのバイトコードに応じた一噛みの重量 (バイト量, g/bite) を推定する方法が考案されている (Agreil and Meuret 2004; Bonnet et al. 2015)。しかし、この方法はバイト様式をコード化するための作業および放牧における各バイトコードの出現回数の計測も、すべて動物を直接観察することにより行っている。このため、非常に時間と労力がかかり、十分な経験も必要以上に、長時間・長期間の放牧への応用は困難である。

著者らは、これまでに植物の形態の違いによって、ウシが摂食時に顎運動 (植物を口で捕捉する際の bite, 口腔内での咀嚼 chew およびこれらの複合運動である chew-bite) をどのように使い分けるかを、加速度センサを用いて明らかにしてきた (Yayota et al. 2015)。さらに、一軸加速度センサとパターンマッチングと呼ばれるアルゴリズムを用いて、ウシの採食および反芻時の顎運動を自動的に識別する方法を開発している (Tani et al. 2013)。また魚類を対象とした近年の研究では、3 軸加速度センサと機械学習 (決定木分析) を用いることで、捕食した餌の種類を識別できることが報告されている (Kawabata et al. 2014)。そこで、本研究では草食偶蹄類において加速度センサと決定木分析などの機械学習を用いることで、形態の異なる植物のバイト様式を自動的に識別し、これらをもとに多様な植物が生育する半自然草地において放牧家畜の採食行動を経時的にモニタリングすることを試みた。

### 3. 研究の方法

試験には、生育型の異なる 4 種の植物、すなわち叢生型植物のイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum*), ロゼット型植物としてロゼット状態であるヒメジョオン (*Erigeron annuus*), 直立型植物のヨモギ (*Artemisia indica*) および匍匐型植物のシロクローバー (*Trifolium repens*) を用いた。各植物種を、トレー (幅 32.0 cm × 奥行 24.5 cm × 深さ 7.5 cm) 上に栽培あるいは移植したモデル草地 (マイクロ草地) を 10 個ずつ作成した。

シバ×ザーネン種 6 頭のヤギを供試し、ヤギの頭部に超小型 9 軸 DT ロガー (Biologging Solutions Inc., 東京) とウェアラブルカメラ (HX-A1H, Panasonic, 大阪) を、頭絡により装着した (図 1)。超小型 9 軸 DT ロガーは、加速度を測る 3 軸加速度センサ、角速度を測る 3 軸ジャイロセンサおよび地磁気を測る 3 軸地磁気センサが組み合わさったものであり、このうち本試験では加速度センサと角速度センサのデータを利用した (図 2)。センサのサンプリング周波数は、50 Hz に設定した。

ヤギの採食行動はビデオカメラ (GZ-MG575-B, Victor Co. Ltd., 横浜) と既述のウェアラブルカメラによる映像によって記録した。ビデオカメラは、マイクロ草地の中心から 100 cm, 地面から高さ 39 cm の位置に三脚を用いて設置し、供試動物の採食行動を正面および側面から撮影した。カメラの画面内に採食行動の様子がおさまるようにズーム機能により画角を調節した。マ



図1. 採食行動の記録の様子。a)超小型9軸DTロガー、b) ウェアラブルカメラ、c)マイクロ草地。

マイクロ草地は供試動物が採食する際に長辺が正面、短辺が側面となるように設置した。

供試動物 1 頭に対して 1 日につき 2 種の植物種のマイクロ草地を、それぞれ 20 回バイト (bite) させた。20 回のバイトをする前に供試動物が採食をやめた場合やマイクロ草地上の植物が食べつくされた場合は、その時点で観察を終了した。

ビデオカメラおよびウェアラブルカメラで撮影した映像は、動画編集ソフト (PowerDirector Express 13; CyberLink Inc., 東京) を用いてバイト開始から終了をフレーム単位で抽出した。9 軸センサで記録した波長は、CSV 形式で保存した。次に、9 軸センサから得た波形のうち供試動物が採食している時間を切り取り、各植物種に対する採食行動の分析に用いた。

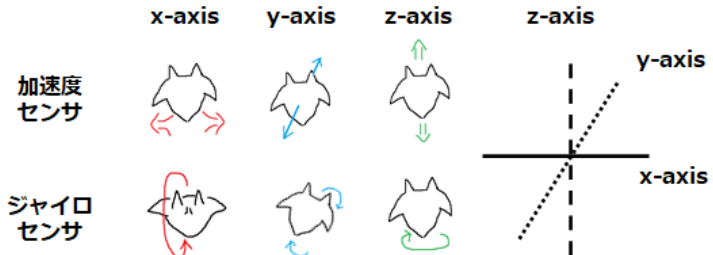


図2. 加速度センサおよび角速度センサデータの記録報告.

観察時間中の各植物の採食量

は、採食前後のマイクロ草地の重量差から求め、さらに採食時間中に起こる蒸散に伴う重量変化を補正し、乾物 (DM) 量で表した。この採食量および映像から確認できた採食時間およびバイト数をもとに、採食速度 ( $\text{DM g/kg}^{0.75}/\text{min}$ )、バイト速度 ( $\text{bite}/\text{min}$ ) およびバイト量 ( $\text{DM g/kg}^{0.75}/\text{bite}$ ) を求めた。採食速度、バイトサイズおよびバイト速度については植物種を要因とした一元配置の分散分析を行い、有意性 ( $P < 0.05$ ) が認められた場合には、Tukey-kramer 法により植物種間の多重検定を行った。

さらに、加速度および角速度センサの各軸の波長データおよび体重について、多項ロジットモデルにより説明変数としての影響を検討し、この結果をもとに決定木、ランダムフォレスト、サポートベクターマシーンおよびニューラルネットワークにより、採食植物種の判別精度を比較した。すべての分析には、R (R Development core team 2020) を用いた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 採食行動：

各植物に対するヤギの採食行動を比較すると、採食速度 ( $\text{DM g/s/kg}^{0.75}$ ) およびバイト量 ( $\text{DM g/kg}^{0.75}/\text{bite}$ ) はヒメジョオンの場合にもっとも高く、他の植物種に比べ有意であったが ( $P < 0.05$ )、その他の植物種間では差は認められなかった。一方、バイト速度 ( $\text{bite}/\text{min}$ ) は、ヒメジョオン、シロクローバー、イタリアンライグラスの間には有意な差がなかったが、ヨモギでは、他の植物種に比べ有意に低かった ( $P < 0.05$ )。

映像から確認できる採食行動の特徴をみると、叢生型植物であるイタリアンライグラスに対して、ヤギは植物のほぼ鉛直上からバイトし、短時間のうちにバイトを繰り返した。また、葉をバイトして草地から切断するときは顎を強く手前に引く傾向があった。匍匐型植物であるシロクローバーに対しては、ヤギはバイトの際に力をかけずに葉を切断できたため、植物をバイトしてから次にバイトするまでの時間が短く、かつ連続的であった。ロゼット型植物であるヒメジョオンは、葉が地面を覆うような形態をしていたため、ヤギが葉を採食する際には葉柄近くをバイトし切断することが多く観察された。1 回のバイトで葉のほとんどの部分を採食できるため、同じ葉を連続的にバイトできず、採食位置の変更が頻繁に起こることが観察された。直立型植物であるヨモギは、草高が高く葉が左右に分岐した形態をしていたため、ヤギは直立茎に対して鉛直方向から口腔をさし入れて、茎部の上方の葉だけ採食する場合と、頭部を傾け植物のおおよそ半分の位置から茎ごとと摂取する場合が観察された。また、左右に分岐・展開した葉を採食するので頭部を左右に振る動作が多い傾向があった。

##### (2) 機械学習による判別：

各センサから得られたデータの分布をみると、いずれの場合でも加速度センサは z 軸が左に歪んだ分布になっていた。一方、ジャイロセンサは、いずれの軸でも中心に偏った分布であった。植物種ごとにみた場合、ヨモギとシロクローバーでは加速度センサの値が両端に偏っていたが、ヒメジョオンとイタリアンライグラスでは、全体的に波長データの分布がばらばらであった。

多項ロジットモデルにより説明変数の影響を検討したところ、いずれの植物種に対しても加速度と体重は有意であったが、角速度はほとんどの場合において有意にはならなかった。採食した植物の判別を、決定木、ランダムフォレスト、サポートベクターマシーンおよびニューラルネットワークで比較したところ、ランダムフォレストによる判別精度が最も高かった。そこでランダムフォレストを用いて、グリッドサーチにより変数調整を行った結果、決定木数は 4 となり、説明変数に動物の体重を含めることで判別精度は 95% 以上であった (体重なしでは 91%)。説明変数の重要度では、左右 (x) および上下 (z) 方向の加速度が最も高く、次いで動物の体重の重要度が高かった。

以上のことから、形態の異なる植物に対して、ヤギは採食行動を変えて対応しており、この動きの違いを、左右 (x) および上下 (z) 方向の加速度と動物の体重を用いることで、採食した植物種を 95%以上の精度で判別可能なことが示唆された。本研究は、加速度センサと機械学習を用いることで、これまで技術的に難しかった放牧家畜の採食植物の種類を採食行動から識別可能であることを世界的に初めて示した。本研究の成果と GPS による放牧家畜の位置情報、さらに GIS とドローンなどを活用したリモートセンシングによる草地の草量・草質の情報を組み合わせることで、放牧家畜による半自然草地の利用状況を経時的にモニタリングする可能性が高まり、利用と保全をより効果的に行うことが期待できる。

#### <引用文献>

- ① Agreil C., Meuret M.: An improved method for quantifying intake rate and ingestive behaviour of ruminants in diverse and variable habitats using direct observation. *Small Ruminant Research* 54: 99-113, 2004.
- ② Bonnet OJ., Meuret M., Tishler MR., Cezimbra IM., Azambuja JCR., Carvalho PCF.: Continuous bite monitoring: a method to assess the foraging dynamics of herbivores in natural grazing conditions. *Animal Production Science* 55: 339-349, 2015.
- ③ Carvalho PCF.: Can grazing behavior support innovations in grassland management? *Tropical Grasslands* 1: 137-155, 2013.
- ④ Kawabata Y., Noda T., Nakashima Y., Nanami A., Sato T., Takebe T., Mitamura H., Arai N., Yamaguchi T., Soyano K.: Use of a gyroscope/accelerometer data logger to identify alternative feeding behaviours in fish. *Journal of Experimental Biology* 217: 3204-3208, 2014.
- ⑤ Penning PD., Rutter SM.: Ingestive behaviour. *Herbage Intake Handbook 2nd* (Penning PD. Ed). The British Grassland Society, 2004.
- ⑥ Sato S: Perspectives on the grazing system in Japan. *Grassland Science* 51: 27-31, 2005.
- ⑦ Tnai Y., Yokota Y., Yayota M., Ohtani S.: Automatic recognition and classification of cattle chewing activity by an acoustic monitoring method with a single-axis acceleration sensor. *Computers and Electronics in Agriculture* 92: 54-65, 2013.
- ⑧ Yayota M., Kato A., Ishida M., Ohtani S.: Ingestive behavior and short-term intake rate of cattle grazing on tall grasses. *Livestock Science* 180: 113-120, 2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yayota Masato, Iida Miya, Doi Kazuya
2. 発表標題 Characterizing bite pattern of goats grazing different morphological plants.
3. 学会等名 The 7th Japan-China-Korea Grassland conference, Sapporo, Japan. (国際学会)
4. 発表年 2018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
---------	---------