

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2019～2022  
課題番号：19K06352  
研究課題名（和文）心拍変動と動的体加速度：生理的・物理的センシング情報の融合による新たな家畜評価  
研究課題名（英文）Heart rate variability and dynamic body acceleration: a novel method to assess the status of farm animals using physiological and physical sensing data  
研究代表者  
大石 風人（OISHI, Kazato）  
京都大学・農学研究科・助教  
研究者番号：50452280  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、センシング情報により導出される動的体加速度（DBA）や心拍変動指標が反芻家畜動物の物理的・生理的応答の違いを評価するのに有効かを検証することを目的として実施した。様々な飼養環境下における自由行動下の反芻家畜動物に対し、非侵襲的なセンシング技術によって3軸加速度および心拍間隔データを取得しDBAと心拍変動指標の評価を行った。結果として、飼料条件や暑熱ストレスの違いに対しDBAや心拍変動指標が応答することが示されたことから、アニマルウェルフェアの観点からこれら指標を反芻家畜動物のストレス状態の評価に有効利用できるのではないかと示唆された。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、自由行動下の反芻家畜動物に対して、非侵襲的なセンシング技術により動的体加速度や心拍変動指標を収集して物理的・生理的な状態変化の評価に役立てられることが示された。その際、反芻動物の暑熱ストレスと心拍変動との関係性など新たな知見を示せたことは学術的意義があったと考えられる。また、ここで検討した方法は様々な飼養条件での家畜動物のストレスや健康状態の評価に利用できると示唆されることから、本研究は家畜生産現場で利用可能なアニマルウェルフェア評価技術の今後の開発検討に対する足掛かりとして社会的意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The objective of the present study was to examine the availability of dynamic body acceleration (DBA) and heart rate variability indices derived from sensor data for assessing differences in physical and physiological responses of ruminant farm animals. Tri-axial accelerations and heart inter-beat intervals of free-moving ruminant farm animals under various management conditions were obtained by non-invasive sensing techniques to evaluate DBA and heart rate variability indices, respectively. It was found that DBA and heart rate variability indices were sensitive to differences in feeding conditions and heat stress for target animals, which indicated that these indices might be useful for evaluating stress status of ruminant farm animals from the point of view of animal welfare.

研究分野：家畜生産システム

キーワード：家畜 動物管理・福祉 生体センシング 動的体加速度 心拍変動

## 1. 研究開始当初の背景

近年、アニマルウェルフェア評価の一環として、様々な飼養管理下における家畜動物のストレス状態を評価する手法の開発に注目が集まっている。これまでも古くから家畜動物のストレス状態を評価する手法は数多く検討されてきたが、大きくは、直接的に行動を観察し従来の行動との変化を外的に読み取る方法と、血液などを生体から直接サンプリングしてコルチゾールを初めとした生理的な各種ストレス指標を分析し評価する方法に二分される。これら手法については現在でも広く研究で用いられ、また実際の生産現場でも利用検討されているものもあるが、それぞれ欠点が存在する。直接行動観察に対する欠点としては、まず定量化が簡易ではなく、特に目視では判断できない微細な行動の変化を定量評価することが困難であることが挙げられる。また、観察に多大な労力を要することも難点の一つである。一方、血中などのストレス指標を評価する方法においては、採血自体が動物にとって侵襲的で負担のかかる方法であること、また仮に唾液中や尿中などの生理指標を用いたとしても経時的な変化を捉えるのが困難であることが欠点として挙げられる。そのため、近年急激に発達している各種生体センシング技術を用いて、非侵襲的・経時的にストレス応答を評価する方法が求められている。

物理的な行動評価に対するセンシング技術として最も広く利用されているものとして、加速度センサーが挙げられる。加速度センサーは人の生活においてあらゆる場面で利用されている一般的な技術となっており、家畜動物の行動評価にもすでに広く利用されている。ただし、家畜生産において加速度センサー情報をどのように利用するかは統一されているとは言えず、目的に応じて検討を重ねる必要がある。その一つとして、生態学分野で開発された、行動由来のエネルギー消費量を推定するための動的体加速度 (DBA) を評価する方法が挙げられる。この方法は多様な種類の動物の活動量を定量評価するのに適した方法として考えられており、放牧家畜動物のエネルギー消費量の推定にも利用できることは本研究代表者のグループがこれまですでに明らかにしている。この手法を用い、エネルギー消費量だけでなくその元情報となる行動量の変化を定量評価することで、何らかのストレス状態にある家畜動物の微細な行動変化を把握することが可能となることが期待できる。

一方、ストレス評価に対する生理的なセンシング技術の一つとしては、これまで医学やスポーツ科学などの分野で人を対象に広く利用検討されてきた、心拍センサーデータを用いた心拍変動解析による自律神経活動バランスの評価が挙げられる。これは、自律神経系にコントロールされる心拍間隔のゆらぎを評価するものであり、特に交感神経系の亢進や迷走神経応答の抑制により心拍間隔の変動が小さくなる状態をストレス状態とみなして定量評価する方法である。家畜動物のストレス評価に心拍変動解析を用いる研究は特にヨーロッパ諸国で行われているが、多様なストレスに対してどれほど有効か、特に飼養管理下の様々な要因に対しての十分な検討は未だなされておらず発展途上である。

## 2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究では、3軸加速度および心拍のセンサー情報を基に定量化したDBAや心拍変動をそれぞれ物理的・生理的評価軸として、家畜動物の非侵襲的な評価技術として利用する手法の検証を行う事を目的とした。それぞれのデータ収集や解析手法の検討を行うのと並行して、具体的な飼養管理下でのストレス要因として暑熱環境や飼料の違いに対する反芻家畜動物の物理的・生理的応答を評価することを試みた。

## 3. 研究の方法

本研究は以下の3つの軸で実施した。

### (1) 自由行動下の反芻家畜に対するDBAを利用した行動評価技術の改良検討

先述の通り、本研究代表者のグループはこれまでDBAによる放牧家畜動物のエネルギー消費量推定法の実装を実施してきたが、行動そのものの評価指標としてDBAを利用するにあたり、まず従来からの重要な課題である動物の行動分類評価に対し、DBAを初めとした加速度センサー情報の利用可能性を検討した。この際、9軸(3軸加速度、3軸地磁気、3軸角速度)センサーを用いて加速度センサー情報としてのDBAに加え地磁気センサーや角速度センサーの情報も利用することで、行動がより詳細に分類できるかも検証した。また行動分類に対する解析手法としては2種の基本的な機械学習モデルを用いた。

一方、DBA評価に対する別の課題として、DBAを評価するための加速度センサーの装着場所の検討も行った。正確なDBAを評価するには動物の重心部に近い箇所で加速度を計測することが求められ、家畜動物に対しては背部(き甲部)にセンサーを装着することがこれまでなされてきたが、生産現場などではより装着が簡易な首輪に各種センサーを装着することが多い。そのた

め、他のセンサー情報も利用することで DBA を首輪で評価することができないかも検討した。ウシとヒツジの背部と首輪それぞれに 9 軸センサーを装着し、背部と首輪で得られたセンサー情報の関係性を解析した上で、首輪のセンサーデータで背部の DBA から得られたエネルギー消費量が推定可能かを検証した。

## (2) 心拍変動解析による反芻家畜の暑熱ストレス応答評価

従来の心拍変動解析では行動量の変化に起因する呼吸量の変化により、心拍変動評価値が大きく影響される可能性がある。そのため、DBA を同時に取得して心拍変動に対する補正係数として解析に取り入れる手法を用い、舎飼いで自由行動下のヒツジおよびヤギに対し、暑熱ストレスを心拍変動により評価できるかを検討した。試験は 6 月、8 月、10 月の 3 期で行い、暑熱の指標として気温と相対湿度から温湿度指数 (THI) を算出し、その値と心拍変動評価値との関係性を解析した。心拍変動評価値としては、従来から広く用いられている時間領域指標や周波数領域指標の他、非周期的な心拍間隔の変動を示す非線形指標を、それぞれ評価指標として用いた。

## (3) DBA および心拍変動解析による黒毛和種去勢肥育牛の VA 制御の影響評価

黒毛和種肥育牛の飼養において、脂肪交雑向上を目的として特に肥育期間の中期において VA (ビタミン A) の給与量を制限する技術が知られているが、その際には VA が欠乏状態にならないように調節することが求められる。そこで本研究では、VA 給与量を制限した区と補給した区で行動的・生理的な応答が異なるかを、行動的指標として DBA を、生理的指標として心拍変動評価値を用いた非侵襲的な方法で評価した。試験設定として、黒毛和種去勢肥育牛に対し、VA 給与を肥育中期に制限した区と補給を続けた区に分けて飼養し、血中 VA 濃度に差がみられる 18 ヶ月齢時および血中 VA 濃度が戻ると考えられる 24 ヶ月齢時においてデータを収集した。DBA による評価検討では、目視では判断できない微細な行動変化を DBA で定量化するとともに、従来の直接観察による行動分類を行い、量的な行動変化と質的な行動変化を合わせて評価を行うことの有用性を検討した。また心拍変動の評価においては、先述の暑熱ストレス応答評価と同様に、DBA による心拍変動評価値の補正を行う手法により検討した。

## 4. 研究成果

### (1) 自由行動下の反芻家畜における DBA を利用した行動評価技術の改良検討

放牧条件下のヤギにセンサーを装着し、DBA を初めとしたセンサー情報を用いた機械学習による行動分類評価の利用可能性を調査したところ、3 軸それぞれの動的体加速度の絶対和である ODBA やベクトル和である VeDBA を含む 3 軸加速度センサー情報のみでも高精度に分類できることが認められ、さらにそれらに加えて地磁気センサーデータなどを特徴量として加えることで分類精度が上昇することが示された。

また、センサーの装着位置の改良検討に対し、背部に装着した加速度センサーデータにより評価した DBA で推定したエネルギー消費量を目的変数、首輪の 9 軸センサーデータから算出した DBA および回転指標 (Pitch、Roll、Yaw) を説明変数として、変数選択による回帰分析を行った。その結果、首輪の DBA のみでも背部 DBA を用いたエネルギー消費量に対する一定程度の予測精度があり、回転指標を加えるとその精度がわずかに上昇することが認められたものの、決定係数としてはどちらの反芻家畜種に対しても 0.7 に満たない結果となり、首輪のセンサー情報によって背部 DBA を代替するにはさらなる検討が必要であると考えられた。

### (2) 心拍変動解析による反芻家畜の暑熱ストレス応答評価

ヒツジおよびヤギの心拍変動に対して THI の変化が及ぼす影響を、まず行動の影響を DBA で補正せずにそのまま評価したところ、時間領域指標、周波数領域指標、非線形指標のどの結果においても、THI の上昇とともに交感神経系が優位となる結果が示された。しかし、DBA を補正係数として組み込むことにより行動量の変化に依存しない心拍変動の評価を行った場合、特に非線形指標において、70 前後の THI では大きな変化はみられないものの、THI が 80 を超えた強度の暑熱ストレス下において急激に交感神経系が優位となることが示された (図 1)。このことは、熱的中性圏と考えられる段階から体温調節機能が崩れると考えられる段階での THI によって暑熱ストレスの影響が心拍変動としても強く表れたことを示していると考えられた。

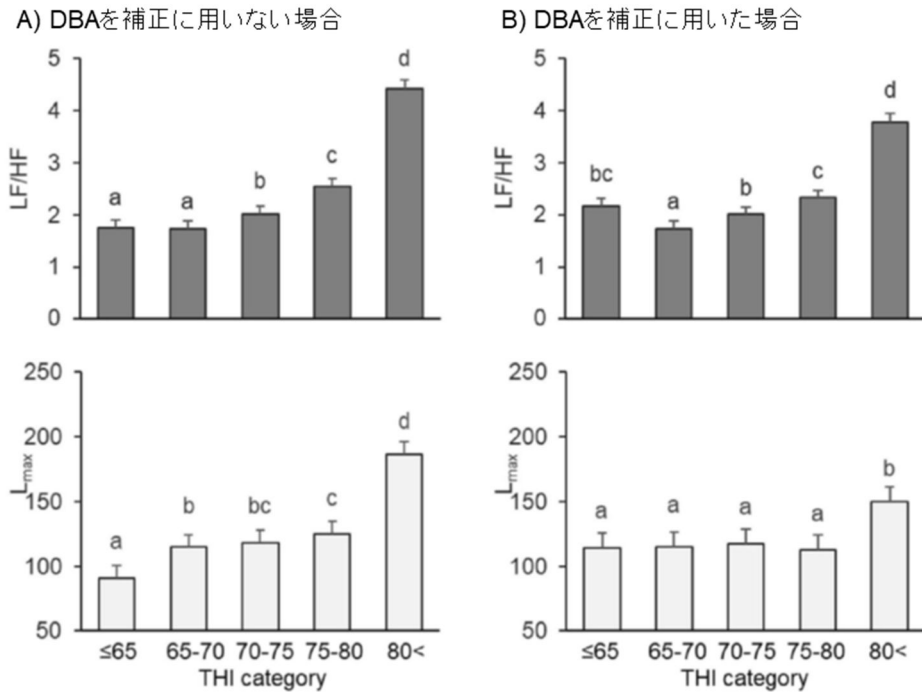


図1 温湿度指数(THI)が小型反芻家畜(ヒツジ・ヤギ)の心拍変動に及ぼす影響(A: DBAによる補正無し、B: DBAによる補正あり)。心拍変動評価値は、上から順に周波数指標(LF/HF比)、非線形指標(L<sub>max</sub>)を示し、各心拍変動評価値は値が高いほど交感神経系が優位であるとみなすことができる。DBAを補正に用いない場合、THIの上昇に応じて交感神経系が優位になることが示されたが、DBAを分析に組み込み動きの影響を補正することにより、特に非線形指標においてTHIが80以上となった段階で急激な変化が示された。

### (3) DBA および心拍変動解析による黒毛和種去勢肥育牛のVA 制御の影響評価

まず血中VA濃度を確認したところ、制限区どの個体においても日本飼養標準で示されている下限値は上回っており、また18ヶ月齢時には制限区と補給区に有意な血中VA濃度の差がみられ、24ヶ月齢時には有意差はみられないという結果となり、試験設定通りに適切な調節ができたと考えられた。両区の試験牛に対して行動の違いをDBAにより評価したところ、18ヶ月齢において、歩行時間自体に違いは見られないものの、歩行時におけるDBAが補給区より制限区の方が有意に高い値であることが示された。その考えられる原因の一つとしては、血中VA濃度の低下により何らかの生理的負荷が生じ、それが起因となって直接観察では判別できない僅かな歩様バランスの崩れが起こり体加速の増加として表れたのではないかと示唆された。なお24ヶ月齢時にも歩行時のDBAに違いはみられたものの、両区の差は18ヶ月齢時と比較して小さくなっており、行動的な変化としては回復傾向にあると考えられた。一方、心拍変動への影響を評価したところ、18ヶ月齢時には幾つかの心拍変動評価値で迷走神経の抑制や交感神経系の亢進を示す結果となったが、24ヶ月齢時には両区に有意な差はみられなくなった。これらのことから、18ヶ月齢時のVA給与制限下においては、本研究における行動的・生理的指標の評価においては直接観察では判別できない程度の軽度のストレス様応答が示されたが、血中VA濃度の回復後の24ヶ月齢時には、生理的指標としての心拍変動は元のレベルまで回復し行動的にも回復傾向を示していたと示唆された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>大西康介・大石風人・児島優稀・児嶋朋貴・山中清華・田島菜・熊谷元・広岡博之   | 4. 巻<br>-            |
| 2. 論文標題<br>首輪の行動センサーデータを用いた放牧家畜エネルギー消費量推定モデルの利用可能性の検討   | 5. 発行年<br>2023年      |
| 3. 雑誌名<br>システム農学  | 6. 最初と最後の頁<br>-      |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>-            |
| 1. 著者名<br>Kitajima, K., Oishi, K., Kojima, T., Uenishi, S., Yasunaka, Y., Sakai, K., Kumagai, H., and Hirooka, H.   | 4. 巻<br>2            |
| 2. 論文標題<br>An assessment of stress status in fattening steers by monitoring heart rate variability: a case of dietary vitamin A restriction   | 5. 発行年<br>2022年      |
| 3. 雑誌名<br>Frontiers in Animal Science   | 6. 最初と最後の頁<br>799289 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3389/fanim.2021.799289  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>-            |
| 1. 著者名<br>Kitajima, K., Oishi, K., Miwa, M., Anzai, H., Setoguchi, A., Yasunaka, Y., Himeno, Y., Kumagai, H., and Hirooka, H.   | 4. 巻<br>8            |
| 2. 論文標題<br>Effects of heat stress on heart rate variability in free-moving sheep and goats assessed with correction for physical activity   | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>Frontiers in Veterinary Science   | 6. 最初と最後の頁<br>658763 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3389/fvets.2021.658763  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>-            |
| 1. 著者名<br>Uenishi, S., Oishi, K., Kojima, T., Kitajima, K., Yasunaka, Y., Sakai, K., Sonoda, Y., Kumagai, H., and Hirooka, H.   | 4. 巻<br>235          |
| 2. 論文標題<br>A novel accelerometry approach combining information on classified behaviors and quantified physical activity for assessing health status of cattle: a preliminary study | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>Applied Animal Behaviour Science  | 6. 最初と最後の頁<br>105220 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1016/j.applanim.2021.105220   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Sakai, K., Oishi, K., Miwa, M., Kumagai, H., and Hirooka, H.  | 4. 巻<br>166          |
| 2. 論文標題<br>Behavior classification of goats using 9-axis multi sensors: The effect of imbalanced datasets on classification performance | 5. 発行年<br>2019年      |
| 3. 雑誌名<br>Computers and Electronics in Agriculture  | 6. 最初と最後の頁<br>105027 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.compag.2019.105027  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>大西康介・大石風人・児島優稀・児嶋朋貴・山中清華・田島栞・熊谷元・広岡博之 |
| 2. 発表標題<br>放牧家畜における背部と首輪から得られた9軸センサーデータの関係解析     |
| 3. 学会等名<br>システム農学会2022年度大会                       |
| 4. 発表年<br>2022年                                  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|           | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                         | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                | 備考 |
|-----------|---|--------------------------------------|----|
| 研究<br>分担者 | 廣岡 博之<br><br>(HIROOKA Hiroyuki)<br><br>(60192720) | 京都大学・農学研究科・教授<br><br><br><br>(14301) |    |

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 |
|---------|---------|