

(続紙 1)

京都大学	博士 (農 学)	氏名	Peng Yingqi
論文題目	Japanese Black Cattle Behavior Pattern Classification Based on Neural Networks Using Inertial Sensors and Magnetic Direction Sensor (慣性センサと磁気方位センサのデータを用いたニューラルネットワークに基づく黒毛和種牛の行動パターンの分類)		
(論文内容の要旨)			
<p>牛肉は世界で3番目に消費されている人気の高い肉であり、1頭の金額が高価であることから情報に基づく精密管理が望まれている。肥育牛の行動は健康、肥育状況等と強い関係があること、また動物愛護の点からも精密な管理が求められることより行動をモニタリングしながら肥育することが重要と考えられる。しかし、各牛の行動を人が監視しながら肥育することは、多頭化が進む畜産の現場では困難である。このため、本研究では安価で簡便な加速度センサとジャイロセンサを組み合わせた慣性センサ (IMU: Inertial Measurement Unit) および磁気方位センサによる牛の行動モニタリングに取り組んだ。</p> <p>本論文は5章から構成されている。第1章は黒毛和種の行動パターンに関する研究の背景、目的、および論文構成からなり、黒毛和種の肥育と動物愛護の点から行動パターン研究の重要性が記述された。</p> <p>第2章では、牛の行動パターンをモニタリングするため、長・短期記憶 (LSTM: Long Short-Time Memory) を用いた再帰型ニューラルネットワーク (RNN: Recurrent Neural Network) モデル (以下、LSTM-RNN モデル) を構成して行動を判定した。実験は、本学附属牧場で2017年1月10日から17日の間、黒毛和種の雄牛6頭の首輪にIMUと磁気方位センサを取り付けて行った。その際のサンプリング間隔は0.05 s (20 Hz) で、Bluetooth を使いデータをパソコンに送ることによって上記のモデルの学習を行った。IMUは3軸方向の加速度および角速度の計6軸、磁気方位センサは3軸方向の方位を計測したことより、合わせて9軸の情報が取得できる。牛の行動は、摂食、横臥、横臥状態での反芻、立った状態での反芻、塩をなめる動作、歩行、他牛をなめる行動、頭突きの8種類に分類された。その結果、各行動の平均認識率は88.7%であった。</p> <p>第3章では、同牧場でLSTM-RNNモデルを用いて、IMUと磁気方位センサの信号から妊娠中の牛の分娩の認識を試みた。3頭の雌牛を対象とし、IMUと磁気方位センサの出産直前3日間の信号を用いて学習させた後、摂食、横臥状態での反芻、立った状態での反芻、横臥、最終的な横臥、立ち上がりのデータを分娩前24時間に渡り計測した。その実験からはLSTM-RNNモデルのウィンドウサイズが32 (データウィンドウの時間幅は1.6 s) のときに最良の結果が得られた。これより、このLSTM-RNNモデルを使うことで、分娩直前の状況を自動的に農家に伝えられる可能性が示唆された。</p> <p>第4章では、同モデルを用いて摂食の自動認識を試みた。雄牛では飼養場での摂食頻度が肥育状態に影響を与えることが知られているため、各牛が30 s以上餌箱に首を入れる頻度を計測した。実験は6頭の雄牛にIMUと磁気方位センサ、IDタグを付けて行い、コンピュータにデータを記録した。実験に供試した牛房の面積は80 m² (= 8 m×10 m) で、異なる月齢の牛に対する認識結果を比較するため、月齢10箇月～22箇月の牛を用いて2017年1月および2018年1月に調査した。その結果、検出精度は月齢10箇月の牛で97.0%、月齢22箇月のもので88.3%であった。摂食行動を二乗和平方根で見ると月齢10箇月の牛は月齢22箇月の牛より高頻度かつ不安定であることが観察された。これより、各牛の摂食行動はIMUと磁気方位センサ、IDタグの信号およびLSTM-RNNモデルの使用によって高精度に認識できることがわかり、肥育期間中計測すれば摂食頻度の変化をモニタリング可能なことも示された。</p>			

第5章では、行動パターンの分類について行ったいくつかの実験結果をまとめている。まず、LSTM-RNNモデルとCNN(Convolutional Neural Network)モデルについて、行動パターンの分類結果を比較した結果、LSTM-RNNモデルの方がCNNモデルより高精度で、ウインドウサイズが64（データウインドウの時間幅は3.2 s）のときに88.7%の正解率を得た。分娩直前の7つの行動パターンは、LSTM-RNNモデルで4種類のウインドウサイズ32, 64, 128, 256（データウインドウの時間幅はそれぞれ1.6, 3.2, 6.4, 12.8 s）において分類可能であった。分類の精度はウインドウサイズ32, 64, 128, 256においてそれぞれ79.7%, 81.1%, 79.7%, 79.8%であった。また、6頭の牛の摂食の分類をLSTM-RNNモデルを用いて行くと、月齢が低い牛の方が高い精度が得られた。以上の結果をまとめると、牛の行動パターンを自動的にモニタリングすることは可能で、牛の成育、病気予防、繁殖に関する情報が得られることより、精密管理に貢献できると結論付けた。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本研究は肥育牛生産において情報に基づく精密管理をめざし、加速度センサとジャイロセンサを組み合わせた慣性センサならびに磁気方位センサで得られた信号から、LSTM-RNN モデルと CNN モデルを用いて牛の行動パターンの分類を行ったものである。本論文では去勢雄牛および妊娠中の雌牛に対して実際の実験結果が示されており、評価できる点は以下の通りである。

1. 牛の行動パターンの分類方法について検討するため、LSTM-RNN モデルと CNN モデルの分類性能を比較した結果、LSTM-RNN モデルの方が、全体的な性能と個々の動作パターンの分類の両方で CNN モデルよりも優れていることを明らかにした。
2. 簡便なセンサを用いることにより、横臥、横臥状態での反芻、立った状態での反芻、塩をなめる動作、歩行、他牛をなめる行動、頭突き、摂食等、基本的な行動パターンを総合的にモニタリング可能で、分娩時間の予測も可能とした。
3. 摂食と反芻をうまく分類できたことに基づき、個々の摂食行動パターンを自動的にモニタリングすることによって給餌時間の決定や摂食状況の記録の可能性を見出した。

以上のように、この研究は情報化の進んでいない肥育牛生産において、簡便なセンサを用いれば基本行動パターンを自動的にモニタリング可能であることを示したものであることから、肥育牛の精密管理に対して大きな貢献が期待される。このことから生物センシング工学、フィールドロボティクス、農業システム工学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、令和元年8月22日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降 (学位授与日から3ヶ月以内)