

令和 2 年 5 月 21 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12715

研究課題名（和文）長期的な時系列変化に着目した牛の歩容解析

研究課題名（英文）Gait analysis of dairy cows using long-term gait fluctuation

研究代表者

大倉 史生 (Okura, Fumio)

大阪大学・産業科学研究所・助教

研究者番号：60754223

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、三次元形状が取得可能な距離画像センサにより乳牛を撮影し、蹄の疾病である蹄病の検出を行う技術を中心とした技術開発を行った。研究期間全体を通じて最大1200頭規模の大規模牛舎等で、個体番号・健康状態スコア・三次元歩行映像を含むデータを収集した。また、歩行時の特徴量を用いた個体識別および蹄病を早期に発見するための検出手法を構築した。具体的には、蹄の状態を5段階で表すロコモーションスコアについて、スコア2（軽度の蹄病）の段階で発見するアルゴリズムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で取得したデータセットにはそれぞれ個体番号・健康状態スコア・三次元歩行映像列が付与されており、国内のみならず世界的に見ても非常に貴重なデータセットである。また、乳牛の三大疾病の一つといわれる蹄病の早期検出の自動化は、酪農現場で強く待ち望まれた技術であり、コンピュータビジョン技術の重要な応用となる。本研究で開発された手法を含む自動化システムをほぼ構築完了しており、実際に研究農場での試験運用を開始する予定である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a technique to detect hoof disease by using RGB-D sensors that can capture a three-dimensional shape of a dairy cow. We constructed datasets including individual IDs, locomotion scores, and three-dimensional walking videos in several farms. We also developed a detection method for identifying individuals and detecting lameness in the early stages of the disease using walking features. Specifically, we developed an algorithm to detect the locomotion score, a five-point representation of hoof condition, at the stage of score 2 (mild hoof disease).

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：酪農 歩行映像解析 蹄病 個体識別

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

乳牛や肉牛を飼養する畜産業において、高品質な商品（乳製品・牛肉）を生産するためには牛の継続的な健康管理が必須である。近年、体表に非接触であるため動物にストレスがかからない距離画像センサからの入力による三次元画像解析を用いた牛の健康管理の自動化に関する研究が黎明期を迎えている。従来、三次元解析による健康状態推定システムは牛の形状のみを用いており、動き情報を用いてこなかった。しかし、牛の歩容（歩き方）には個体の識別情報や健康状態に関する情報が含まれており、歩容を解析することによる高精度化・高機能化が見込める。例えば、蹄の疾病の初期段階において、見た目の変化は体形状よりも歩容（足を引きずるなど）に顕著に現れることが獣医学において知られている。また一方で、継続的に個体ごとの健康状態の推移を正しく記録するためには、個体識別手法の開発も不可欠である。

2. 研究の目的

(1) 歩容解析による牛の健康管理の実用化は喫緊の課題である。特に、疾病を軽度のうちに検出する手法が望まれている。本研究では特に蹄の疾病（蹄病）を対象として、軽度蹄病の検出手法の確立および、個体識別手法との統合による実用システムの構築を行う。

(2) 牛の健康管理は、人物歩容解析の主要な応用である防犯と異なり、特定の個体群を長期的に観測するタスクである。そのため、長期間の観測による歩容変化の発見が有効であると考えられる。これに必要なデータベースの作成および、長期間の歩容変化を活用した解析アプローチを実現する。

3. 研究の方法

上記研究目的に従い、以下の項目について研究を行った。

(1) 乳牛映像および健康状態データセットの構築

本研究においては、三次元形状が取得可能な距離画像センサを用い、以下の3施設でスポット的な撮影および、継続的な撮影を行った。これらのデータには個体識別番号が付与されるとともに、各個体の健康状態を表すスコア群が登録されている。

① 酪農学園大学（60頭規模）

距離画像センサによる乳牛撮影のテストを兼ねて、研究協力先の酪農学園大学牛舎におけるスポット（短期間）撮影を実施した。個体番号および蹄病を評価するスコア（ロコモーションスコア）を目視で取得した。

② 商用牛舎（岡山県：1200頭規模）

機械学習等を用いた健康管理技術の開発には、大規模データの収集が重要である。本研究では、1200頭規模の大規模牛舎における撮影を行った。本牛舎においては、個体番号および健康状態を目視で判別し、スポット的に撮影を行った。

③ 研究用牛舎（北海道：60頭規模）

継続的な撮影を行うため、乳牛が通過した際に撮影を行う自動撮影システムを構築した。これを北海道の60頭規模の牛舎に設置し、継続的な撮影を行った。

(2) 軽度蹄病推定およびシステム化

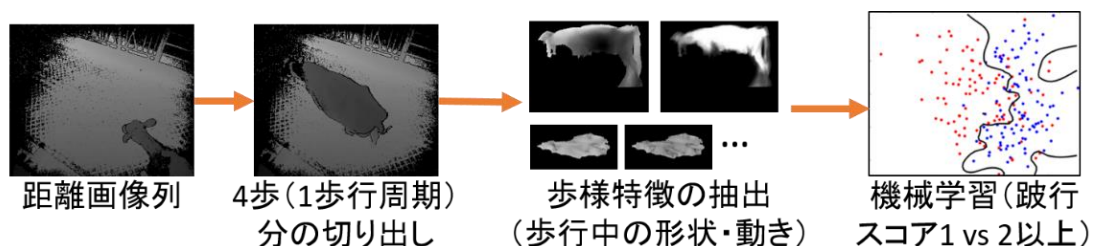


図1 早期蹄病検出

本研究で撮影したデータ群には、蹄の状態を5段階で表すロコモーションスコアをはじめとした健康管理のためのスコアが定期的に付与されている。これまで、画像処理に基づく蹄病検出手法には背形状の特徴が用いられ、蹄病の有無、すなわち比較的健康的なロコモーションスコア2以下と明確に異常があると判断できるスコア3以上との分類を重視してきた。しかし、一般的に、牛舎内にスコア2の乳牛が増加した場合、専門家は対策を講じる必要がある。そのため、ス

コア2の乳牛の発見、つまり蹄病の早期発見が重要である。そこで、本研究では、早期蹄病検出をロコモーションスコア1（健康）および2（軽度の蹄病）以上を分離する問題と捉え、図1のように、歩容に基づく軽度蹄病の推定システムを開発した。具体的には、人物映像解析で用いられる歩容特徴を用い、機械学習に基づく推定システムを開発した。この際、複数の歩容特徴の比較、次元削減と機械学習を用いた特徴次元ごとの重みや距離の最適化により、軽度跛行の検出に最適な学習器を設計・実装した。

(3) 長期時系列歩容特徴の設計と応用

乳牛におけるデータ収集が途上であることを踏まえ、長期撮影に基づく新たな歩容特徴については、データと技術の蓄積がある人物の歩行映像解析に対する寄与が大きいと考えた。本研究では特に高齢者の認知症の早期検出を対象とした歩容解析アルゴリズムの設計に重点を置いた。これらの研究で得られた知見は、乳牛の映像解析にも転用可能である。

4. 研究成果

(1) 乳牛映像および健康状態データセット

本研究では、酪農学園大学および、酪農関係企業の協力の下、図1に示す3ヶ所の実証フィールドにおいてデータを取得した。2018年度までに、酪農学園大学（60頭規模）および本州最大級の商用牛舎（1200頭規模）におけるスポット撮影を行い、乳牛歩行解析における各技術の学習・テスト用のデータセットが得られた。また、最終年度には北海道の研究農場において、継続的な自動撮影を行ってデータを獲得している。現時点で、本牛舎における映像の撮影は自動化されており、(2)で述べる軽度蹄病推定システムの試験運用を開始されている。以下に、本研究で得られたデータセットの概要を示す。

1. 酪農学園大学（北海道）

- 個体数 63 頭・のべ撮影数 105 シーケンス
- 狭い通路で、一度に 1 頭ずつの歩行
- 各映像にロコモーションスコアの付与あり

2. 希望園（岡山）

- 個体数約 1200 頭（本州最大級）
- 広い通路で、一度に数頭の歩行あり
- M ステージスコア（蹄の炎症度）の付与あり
- 後日、撮影映像から目視でロコモーションスコアを付与

3. ノーサンファーム（北海道）

- 個体数約 60 頭・乳牛通過時に継続的に自動撮影（継続中）
- 広い通路で、複数頭が歩行することがある
- ロコモーションスコアその他、乳量、乳質を含む複数の健康状態スコア

研究期間全体を通じて得られたデータには、それぞれ個体番号・健康状態スコア・三次元歩行映像列が付与されており、頭数、映像数ともに、国内のみならず世界的に見ても非常に貴重なデータセットが構築できた。

(2) 軽度蹄病推定

ロコモーションスコアは、乳牛の歩行の様子から蹄病の重症度を評価するものである。具体的には、蹄病の兆候は背中湾曲具合と歩行状態に現れる。ロコモーションスコアは、その湾曲具合・歩行状態は1（健康）～5（重症）までカテゴリ化するものである。本研究では、歩容特徴を入力とした機械学習を用いたスコア2以上の個体の検出を行う。

酪農学園大学で取得された映像群を用いた推定結果を図2に示す。63頭の個体データのうち、歩行が確認できた27頭に対し、跛行スコアに基づく早期蹄病検出率92.6%を達成し、本技術の有用性を実証した。一方、本州最大級の農場の一つである希望園（岡山）では、以前からMスコアと呼ばれる、蹄の炎症度をスコア化した指標が付与されてきた。Mステージスコアはdigital dermatitis (DD) スコアとも呼ばれ、いわゆる「牛の水虫」であるDDの度合いを評価するものであり、蹄を直接観察し、炎症を見ることで付与される。Mステージスコアは蹄病の重症度の評価ではないが、スコア1/2/4.1と言われる3つの状態において脚部の痛みが発生すると言われており、特に本州の農場においてよく用いられる。本研究では、商用牛舎において従来から業務の一環でMスコア付与されていたことと、DDが蹄病の支配的な要因であることを踏まえ、研究代表者らが所有する推定手法のMスコアへの転用を試験した。2日間の撮影の後、撮影画像から

個体番号を目視で判別できた 131 頭について M スコアの推定を行ったところ、推定精度は 59.5% となった (図 3)。一方、撮影映像から 41 頭にロコモーションスコアを付与し同手法で分離したところ、85.4%の精度で早期蹄病の分離ができた。DD はあくまで蹄病の 1 要因であり、ロコモーションスコアにより跛行を評価することが、実応用場面では適切であると考えられる。



図 2 酪農学園大学 (北海道) におけるカメラの設置と蹄病推定精度

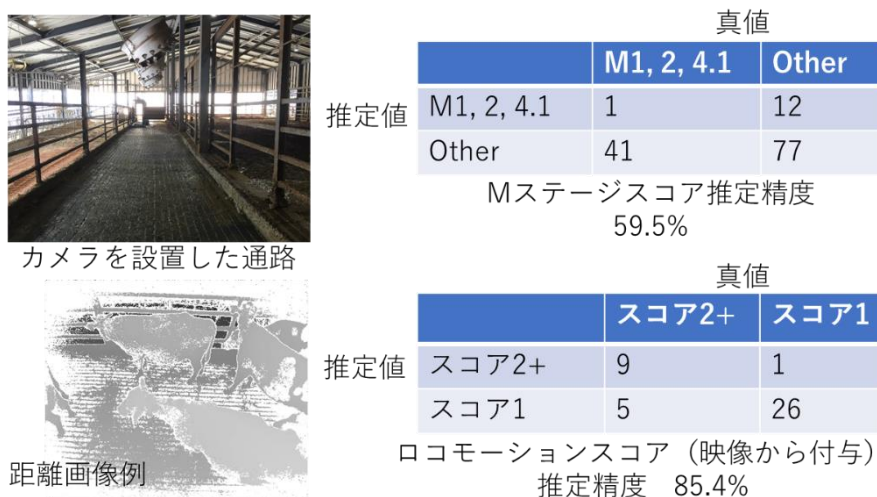


図 3 希望園 (岡山) における撮影と蹄病推定精度

結果、本手法はロコモーションスコアの推定において極めて実用的であることがわかった。跛行スコアは 1~2 週間程度のスパンで変化する尺度である。そのため、各撮影時に、提案システムが「蹄病」「健康」と推定するとして、仮に各個体を一日 1 回ずつ撮影できる場合、例えば 7 日間程度の撮影でその多数決をとるのが実用的な使い方の一つであると考えられる。このとき、1 回撮影での検出率 85%を達成した場合、7 日の複数回観測で多数決を取った場合の蹄病検出率は、単純計算で 99%となる。

本研究ではさらに、自動撮影から可視化までを一連で行うソフトウェアを作成した。本ソフトウェアは、主に単一の小規模牛舎において、乳牛の撮影・データ処理・可視化を一連で行う最低限の機能を付与したものであり、試験牛舎等で試用出来るレベルとなっている。従来、乳牛の歩行映像からの疾病検出は研究レベルで行われており、上記一連の処理を自動化する実装は未だ存在しない。その点で、ソフトウェアの開発は本技術の実用化にむけた重要なマイルストーンとなる。具体的には、本実装は距離画像センサを接続した撮影用 PC および、必要に応じてコントロール・可視化用 PC が接続可能である。画角内への乳牛の進入を検知し、自動で撮影開始・停止を行う。また、任意の処理ツールを呼び出し、三次元映像の可視化を行う。これを上記蹄病推定手法[1]および個体識別手法[2]と組み合わせ、ノーサンファームにおける継続的な撮影に活用している。

(3) 長期時系列歩容特徴による歩容解析

長期撮影に基づく新たな歩容特徴については、特に人物の映像解析に対する寄与が大きいと考え、特に高齢者の認知症の早期検出を対象とした歩容解析アルゴリズムを設計した。特に、被

験者の慣れや経時変化が顕著に現れており、これらの情報が認知症や軽度認知障害（MCI）の検出に寄与することを明らかにした。具体的には、以前構築したデュアルタスク歩行の体験システム[3]で取得されたデータを対象とし、同一の研究参加者が長期に渡って同タスクを行うデータを収集した。その結果、回数を重ねるごとにタスクへの習熟度が変化し、MCIの識別性能が変化すること、また長期間かつ複数回のタスクで得られる歩容特徴を併用することで識別性能が向上することが明らかになった[4]。

参考文献：

[1] 谷野 陸, 大倉 史生, 八木 康史: “三次元映像解析に基づく乳牛の軽度跛行検出の自動化”, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 2019-CVIM-217, No. 36, pp. 1-8, May 2019.

[2] Fumio Okura, Saya Ikuma, Yasushi Makihara, Daigo Muramatsu, Ken Nakada, Yasushi Yagi: “RGB-D video-based individual identification of dairy cows using gait and texture analyses” Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 165, Article 104944, Oct 2019.

[3] Fumio Okura, Ikuhisa Mitsugami, Masataka Niwa, Kota Aoki, Chengju Zhou, Yasushi Yagi: “Automatic collection of dual-task human behavior for analysis of cognitive function” ITE Trans. on Media Technology and Applications, Vol. 6, No. 2, pp. 138-150, Apr 2018.

[4] Taku Matsuura, Kazuhiro Sakashita, Andrey Grushnikov, Fumio Okura, Ikuhisa Mitsugami, Yasushi Yagi: “Statistical analysis of dual-task gait characteristics for cognitive score estimation” Scientific Reports, Vol. 9, Article 19927, Dec 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6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 4件）

1. 著者名 Matsuura Taku, Sakashita Kazuhiro, Grushnikov Andrey, Okura Fumio, Mitsugami Ikuhisa, Yagi Yasushi	4. 巻 9
2. 論文標題 Statistical Analysis of Dual-task Gait Characteristics for Cognitive Score Estimation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 19927
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-56485-w	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 Okura Fumio, Ikuma Saya, Makihara Yasushi, Muramatsu Daigo, Nakada Ken, Yagi Yasushi	4. 巻 165
2. 論文標題 RGB-D video-based individual identification of dairy cows using gait and texture analyses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computers and Electronics in Agriculture	6. 最初と最後の頁 104944
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.compag.2019.104944	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 -
1. 著者名 Aoki Kota, Ngo Trung Thanh, Mitsugami Ikuhisa, Okura Fumio, Niwa Masataka, Makihara Yasushi, Yagi Yasushi, Kazui Hiroaki	4. 巻 7
2. 論文標題 Early Detection of Lower MMSE Scores in Elderly Based on Dual-Task Gait	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 40085 ~ 40096
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2019.2906908	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 Zhou Chengju, Mitsugami Ikuhisa, Okura Fumio, Aoki Kota, Yagi Yasushi	4. 巻 6
2. 論文標題 Growth Assessment of School-age Children using Dualtask Observation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ITE Transactions on Media Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 286 ~ 296
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3169/mta.6.286	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 大倉 史生, 八木 康史, 榎原 靖, 村松 大吾	4. 巻 62(12)
2. 論文標題 酪農におけるセンシングシステムの構築とその応用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 システム/制御/情報	6. 最初と最後の頁 514 ~ 519
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 無
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 -

1. 著者名 Fumio Okura, Ikuhisa Mitsugami, Masataka Niwa, Kota Aoki, Chengju Zhou, Yasushi Yagi	4. 巻 6
2. 論文標題 Automatic collection of dual-task human behavior for analysis of cognitive function	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ITE Trans. on Media Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 138-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3169/mta.6.138	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

[学会発表] 計6件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Taku Matsuura, Kazuhiro Sakashita, Andrey Grushnikov, Fumio Okura, Ikuhisa Mitsugami, Yasushi Yagi
2. 発表標題 Statistical analysis of dual-task gait characteristics for cognitive score estimation
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Symbiotic Intelligent Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷野 陸, 大倉 史生, 八木 康史
2. 発表標題 三次元映像解析に基づく乳牛の軽度跛行検出の自動化
3. 学会等名 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松浦 拓, 阪下 和弘, 満上 育久, 大倉 史生, 八木 康史
2. 発表標題 早期認知障害検出に向けた高齢者デュアルタスクデータセットの統計分析
3. 学会等名 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chengju Zhou, Ikuhisa Mitsugami, Kota Aoki, Fumio Okura, Yasushi Yagi
2. 発表標題 Age estimation from dual-task behavior for comprehensive growth assessment of children
3. 学会等名 Proc. Int'l Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV'18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松浦 拓, 満上 育久, 大倉 史生, 八木 康史
2. 発表標題 デュアルタスク体験システムによる認知症高齢者データの収集とその解析
3. 学会等名 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 砂川 翔哉, 大倉 史生, 生熊 沙絢, 中田 健, 八木 康史
2. 発表標題 乳牛の歩行映像解析による軽度蹄病の検出
3. 学会等名 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<http://www.am.sanken.osaka-u.ac.jp/~okura>

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
--	---------------------------	-----------------------	----