

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 農 学 )	氏名	KHALIDUZZAMAN
論文題目	Non-destructive Classification of Chick Embryos Based on Heartbeat, Body Motility and Growth Using Signal Processing of Near-infrared Light (近赤外光の信号処理を用いた心拍, 運動性および成長に基づく鶏胚の非破壊分類)		
(論文内容の要旨) 2011年に畜種ごとの動物愛護の考え方に対応した飼養管理指針が出されたものの、採卵鶏は雌に限られることから、孵化直後に年間70億羽程度の雄の雛が処分されている。肉用鶏においては逆に、成長が早く効率的生育が可能なことから雄が求められている。また、21日間の孵卵期間を経た後、生まれた雛に障害があっても処分の対象となる。さらに、健康な雛であっても、丁度21日目に孵化しないとそれも処分の対象となる。つまり、鶏胚のモニタリングを実現し、障害を迅速に検出して対応できるようにすることは、孵化効率や孵卵器のスペース、生産者の投資エネルギーの問題等を考慮すると、養鶏において解決すべき重要な課題と言える。本研究では、近赤外センサを用いて、波長870 nmの透過光の信号処理により、鶏胚の運動性や拍動の頻度をモニタリングし、ハッチングウインドウの予測、性別判定、不整脈の検出について検討を行った。 本論文は8章で構成され、第1章では研究背景および胚成長に関する先行研究を整理するとともに、精密家禽生産の実現のために必要な技術課題を示したのち、研究目的が述べられている。第2章では実験に供した材料である薄茶色の鶏卵サンプル (ROSS 308)、近赤外センサを用いた実験装置の詳細、実験方法および信号解析方法について述べられている。 第3章では構築した実験装置で鶏胚の動きや心臓の拍動をモニタリングし、孵卵期間の6日目から19日目までの信号の計測結果が述べられている。心拍は3.8から4.8 Hzの周期であり、13、14日目で強度が最大となり、その後低下した。また、後半には胚の胎動が見られたことより、近赤外光を利用した透過測定系は、発生生物学や心臓血管医学等の分野で役立つだけでなく、精密家禽生産システムの実現に貢献できる可能性があるとして述べている。 第4章では同様の装置を利用して、孵卵期間の長さや孵卵期間中 (8日から19日間) の心拍信号との関係について探索した。心臓の信号 (心拍数と心拍の強さ) は、胚発生と鶏胚の成長と密接に関係しており、特に10日から13日目までの信号を線形判別分析(LDA)やサポートベクターマシン(SVM)等で解析した。その結果、LDAモデルでは通常通り孵化する卵と遅れる卵を93%の精度で判別可能であった。 第5章では非侵襲的に計測した鶏胚の動きと性別の関係を調査した。16時間の予備加熱の後、インキュベータ内で37.8°C、60%RHの条件の下、6日から19日目まで期間の胚の動きを計測した。得られた胚の運動を示す信号を高速フーリエ変換の後、SVM、K-最近傍法(K-NN)等で性別判定を行ったところ、胚の運動強度と性別の間に高い相関があることを示した。これは孵化後半における胚の動きが性差に由来していることを示唆しており、胚の活動を理解することは、発生生物学だけでなく、鶏肉生産および動物倫理にも貢献できると述べている。 第6章では孵卵過程における近赤外透過光の変化からも性別判定の可能性を探索した。透過光の減衰量を不透明度と定義し、6日から19日目までの孵卵期間中、インキュベータから取り出してその不透明度を調べたところ、鶏卵中の胚は大きくなるにつれて増加した。孵化後、雛の性別を判定し、事前に測定した不透明度との関係を調べたところ、雄の鶏胚は雌に比べて有意に高い不透明度を示し、孵化前に84%の精度で雌雄判定ができることを明らかにした。			

第7章では、鶏卵の段階での不整脈を計測することによる孵卵期間の非侵襲モニタリング技術について研究を行っている。本実験では8日から18日目までについて調査したところ、通常の鶏胚の心拍は約300 bpmであった。この値は、先行研究で報告されている値からも妥当な結果であり、心拍数が200 bpm以下の場合、徐脈性不整脈と判定される。今回の実験では155個の鶏卵を用いたところ1個の鶏卵で徐脈が観測され、この鶏胚の心拍は、14日目に急激に心拍数が低下し、徐脈性不整脈となった。孵化後の計測では、明らかに正常な雛よりも小さかったことから、この非破壊計測の方法は、胚の心血管形成の異常を早期に検知できる可能性を示唆していると述べている。

第8章では近赤外センサを用いた本手法は非侵襲計測であると共に、データ処理が容易で、卵殻色の影響を受けにくく、高感度かつ低ノイズである点で有効であり、精密家禽生産に貢献できる技術であると結論づけている。

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、薄茶色を持つROSS308種の鶏卵を対象とし、波長870 nmの近赤外透過光をセンサで受光するシステムを構築し、鶏胚の運動性や拍動の頻度を非破壊でモニタリングする技術について検討したものである。特に、ハッチングウインドウの予測、性別判定、不整脈の検出について議論された。本論文では効率的な鶏肉生産を実現すると共に、動物保護の観点から満足しうる孵卵技術の開発を目指す内容であり、評価できる点は以下の通りである。

1. 波長870 nmの近赤外光を用いた透過測定系を構築し、非破壊で鶏胚の心拍をモニタリングできる手法を提案した。また、胎動の頻度も計測できることを示した。
2. 孵卵期間の長さや心拍信号の関係性を明らかにし、特に10日から13日目の信号に線形判別分析を用いることにより、孵化が遅くなる鶏卵を93%の精度で予測した。
3. 孵卵期間後半に見られる鶏胚の運動性と雌雄の関係性が高いことを示すと共に、透過光の減衰量で定義される不透明度から、84%の精度で雌雄を判別できた。
4. 孵卵期間中の心拍のモニタリングに基づき、鶏卵の徐脈性不整脈検出から、胚の心血管形成の異常を早期に検知できることを示した。

以上のように、本論文は鶏卵の近赤外透過信号を利用することで、胚形成や胚の運動性を非破壊で理解でき、ブロイラー生産における高効率孵卵工程の可能性を示す内容であることから、農畜産物の情報化に関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)