

# 装着型センサを用いた子牛疾病早期発見のための モニタリング方法の開発

後藤 悠太 山本 祐実\* 村上 知之 久保 聡\*\*

Development of monitoring method  
to find poor physical condition of calves faster with wearable sensor

Yuta Goto Yumi Yamamoto Tomoyuki Murakami Satoshi Kubo

## 要 約

本試験では頸部体表面温度と直腸内温度および環境温度との関係について検討し、非侵襲的に測定した頸部体表面温度が直腸温度を反映できるかを調査し、また、脈拍数を簡易にモニタリングできる技術を調査した。それぞれの技術で飼養者に通知するシステムの構築についてゲンゼ株式会社と共同で開発を行った。開発した無線体温センサ付き装着具を頸部に装着した子牛で、特定の姿勢を維持した時、頸部体表面温度と直腸温度で相関があり、体温異常を検出するための方法として活用できることが示唆された。また、市販の脈拍センサを利用し、尾静脈で脈拍数を簡易に測定する技術を確立した。

キーワード：子牛、頸部体表面温度、脈拍、ICT

## 結 言

子牛の疾病は下痢や呼吸器疾患が大半を占め、特に観察時間が十分にとれない集団飼育下では重症化することも多い。子牛の疾病は和牛農家・酪農家のいずれにとっても経営に与える影響が大きい。体温は子牛の体調を判断するための重要な情報であるが、基本的な測温手段となる直腸では継続的な測定は困難である。現在、尾根部装着型の体温センサや赤外線サーモグラフィを用いた体温測定技術は開発されているが研究レベルでの利用に留まっており、簡易に体温変化を確認できる技術が望まれている。また、体温の変化を伴わず脈拍数が変化する循環器系疾患もあり、これに対応できる技術が必要である。

簡易に体温変化を確認できる方法として、体表面温度を計測することが考えられるが、中でも頸部体表面温度は腔内温度と正の相関があることが示唆されている(鍋西 久,2016)

そこで本試験では、情報通信技術(ICT)を用いて、体調不良牛の早期発見、早期治療を可能とすることで、疾病の重篤化や死亡事故を低減することを目的とし、ゲンゼ株式会社と共同して、①頸部から取得した体表面温度を用いて発熱を検出する方法を検討し、体調不良牛を飼養者に自動で

通報するシステムの構築と、②脈拍数を簡易にモニタリングできる技術の確立を目指した。

## 材料及び方法

### I. 体温モニタリングに関する試験

#### 試験 1. 頸部体表面温度と直腸温度の関係の調査

##### (1) 供試動物

1~6 か月齢ホルスタイン種子牛 8 頭

##### (2) 使用機材

サーミスタセンサ (ゲンゼ株式会社; 以下センサ) 【図.1】、作業用ベルト (ゲンゼ株式会社; 以下ベルト)、重り (シャックル)、布ガムテープ、自着生伸縮包帯、監視カメラ

##### (3) 方法

1) 頸部体表面温度の測定では、センサをベルトにガムテープを用いて装着し、相対位置固定のためのシャックルをつけた装置を供試牛に装着した【図.2】。

2) 直腸温度の測定では、センサのデータ送信装置部を自着性伸縮包帯を用いて尾根部に装着し、センサ測定部を直腸内に約 5cm ほど挿入し、留置することで、頸部体表面温度と直腸温度を同時に測定した。また、子牛の姿勢を監視カメラを

※ 現 京都府農林水産部 経営支援・担い手育成課

※※ ゲンゼ株式会社

用いて観察し、姿勢ごとの頸部体表面温度の変化と直腸温度との関係を調査した。



図 1 サーミスタセンサ



図 2 測定装置を装着した子牛

試験 2.直腸温度と相関のある姿勢の頸部体表面温度のみを抽出する方法及び治具の検討

- (1) 供試動物  
1~6 か月齢ホルスタイン種子牛 4 頭
- (2) 使用機材  
改良型センサ（グンゼ株式会社；以下センサ改）【図.3】、改良型ベルト【図.4,5】（グンゼ株式会社；以下ベルト改）、重り（40g 程度のリングキャッチ）、布ガムテープ、監視カメラ、防湿コーティング剤（太洋電気産業株式会社）
- (3) 方法  
試験 1 で得られた結果をもとに直腸温度を反映する姿勢の頸部体表面温度のみを抜き出す方法について検討を行った。

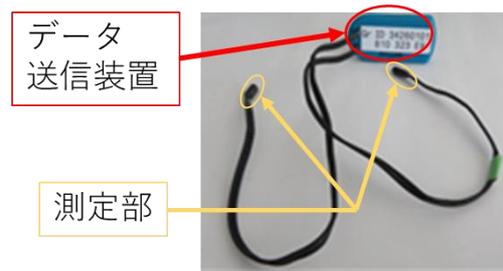


図 3 改良型センサ



図 4 改良型ベルト（全体）

コード

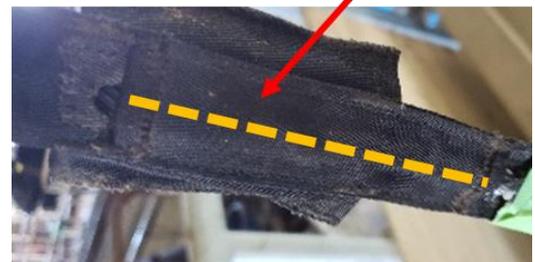


図 5 改良型ベルト（裏面）

試験 3.体温モニタリングシステムの開発及び実証試験

- (1) 供試動物  
1~6 か月齢ホルスタイン種子牛 7 頭  
1~6 か月齢黒毛和種子牛 14 頭
- (2) 使用機材  
センサ、ベルト、重り、布ガムテープ、パソコン、MONOSTICK-Blue（モノワイヤレス株式会社）、温度データ取得プログラム（グンゼ株式会社）、モバイル wifi（メール送信用）
- (3) 方法  
センサで取得した温度データを MONOSTICK-B によってパソコンで受信、グンゼ株式会社製の温度データ取得プロ

グラムを用いて CSV ファイルとしてパソコンに保存した。さらに保存した温度データから 6 時間ごとに目的の温度のみを抽出し、抽出した温度データの異常・正常を判別、異常と判断した場合に登録したメールアドレスに警報メール【図.6】を送信するプログラム【図.7】を Visual basic 言語を用いて作製した。

さらに、2021 年 9 月から 2022 年 2 月まで牛舎内に MONOSTICK-Blue を装着したパソコンとモバイル wi-fi ルーターを設置し、治具を装着した子牛の体温をモニタリングしてシステムの実証試験を行った。実証試験中は、毎日、獣医師が対象牛の診察を行い、健康状態をチェックした。

尚、センサと PC の通信はモノワイヤレス社の TWE-LITE 通信を用いて行った【図.8】。

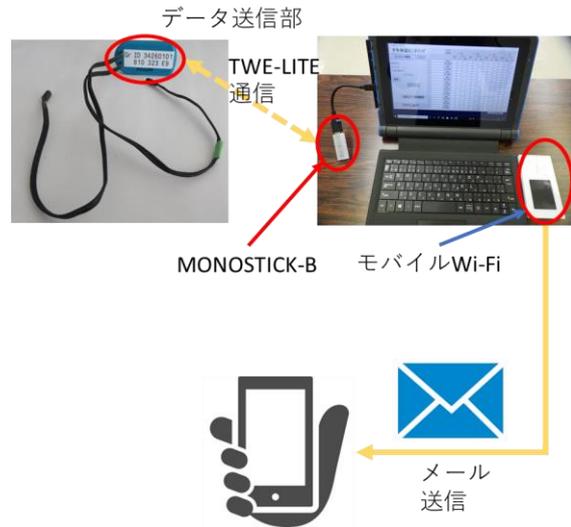


図 8 ICT 概略図

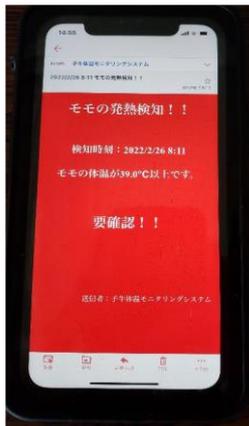


図 6  
スマホに届く警報メール

No.	ID	名前	2021/10/24		2021/10/24		2021/10/24		2021/10/24		
			温度(°C)	変動	温度(°C)	変動	温度(°C)	変動	温度(°C)	変動	
1	911023A5	最新	38.3	3	37.3	1	38.0	3	0	0	
2	911023C4	最新	37.3	2	37.3	2	37.3	2	37.3	2	
3	モモ	最新	38.4	1	35.5	1	35.8	25.6	1	36.0	3
4		最新	37.3	1.6	37.2	1.6	37.3	1.6	37.3	1.6	

図 7 モニタリングプログラムのホーム画面

## II. 脈拍モニタリングに関する試験

### 試験 1. 脈拍数の測定方法の確立

- (1) 供試動物  
ホルスタイン種子牛 10 頭
- (2) 使用機材  
POLAR OH1 (POLAR JAPAN)【図 9】、  
聴診器、自着性伸縮包帯
- (3) 方法

測定部位は耳介静脈（被毛あり、被毛なし）、頸静脈（頸）、尾静脈（尾）とし、保定した子牛が落ち着いた後に POLAR OH1 を押し当てると同時に聴診器で心音を確認した。それぞれ 1 分間の平均を測定値とし、脈拍数と心拍数の関係を調査した。また、POLAR OH1 を長期間装着可能な方法を検討した。



図 9 POLAR OH1 (POLAR JAPAN)

### 試験 2. 皮膚が黒い牛での脈拍測定の検討

- (1) 供試動物  
尾根部が黒色の黒毛和種子牛 10 頭
- (2) 使用機材  
POLAR OH1、聴診器、自着性伸縮包帯
- (3) 方法  
保定した子牛が落ち着いた後、尾静脈に POLAR OH1 を押し当てたのち、自着性伸縮包帯で固定し、計測された脈拍数

と聴診した心音との関係を調査した。測定は1頭あたり3回行った。1分間の平均値それぞれの測定値とし、脈拍数と心拍数の関係を調査した。

## 結果及び考察

### I. 体温モニタリングに関する試験

#### 試験 1. 頸部体表面温度と直腸温度の関係の調査

様々な姿勢の子牛の頸部体表面温度を調査した結果、首を後ろに差し込む伏臥（以下うずくまり）姿勢【図 10】をとった際に测温値が上昇し、約 10 分で安定した値となることが分かった。これは、人がわきの下で体温を測る際の状況と酷似しており、どちらも太い血管近く（うずくまり：頸静脈、わきの下：腋窩動脈）で、体温センサをびたりと挟み込んでいる。人が腋窩で体温を測定する方法は深部体温の代替として広く用いられていることから、うずくまりの際の頸部体表面温度は深部体温を反映している可能性が高いと考え、直腸温度との相関を調査したところ高い相関（ $r^2=0.8542$ ）があることが分かった【図 11】。

また、6 月～1 月にかけてうずくまり姿勢の回数についても調査を行ったところ（ $n=8$ ）、うずくまる姿勢は正常な子牛であれば 19 時から翌 7 時までに平均 15.9 回行われた。首を倒す方向の比率はほぼ同等であった（右 53%、左 47%）。20 分以上うずくまる回数は平均 4.4 回であった。

以上から、うずくまり姿勢の頸部体表面温度をモニタリングすることで、発熱の検知が可能であると考えられた。



図 10 うずくまりの姿勢

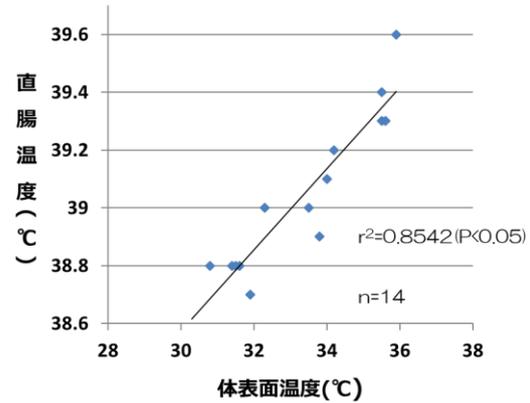


図 11 頸部体表面温と直腸温の相関

#### 試験 2. 直腸温度と相関のある頸部体表面温度のみを抽出する方法及び治具の検討

試験 1 より、うずくまり姿勢時の温度を抜き出す方法を検討した。監視カメラの映像と温度データを検証した結果、測定部を 2 つ有したセンサ改【図.3】を測定部がそれぞれ首輪の内外にくるよう装着し、内側（頸部体表面温度）と外側（環境温度）が同時に上昇した時の温度データを抜き出すことで、うずくまり姿勢時の温度データのみを抜き出すことが可能であった【図 12】。これは、外側測温値はうずくまり姿勢以外では環境温度を反映しているが、うずくまり姿勢時に体幹と首で挟み込まれた時のみ、体温を反映するためである。

尚、夏季に環境温度が上昇し、牛の体温とほぼ同値になった際は、この理論でうずくまり姿勢時を特定することは困難であるが、夏季期間は気温が低下する夜間のみモニタリングに切り替えることで、対応可能であると考えられる。

また、治具について、試験 1 で用いた治具では、群飼房において他の牛の干渉によるセンサの破損が見られたことから、センサ改を装着しやすく、保護しやすいベルト改【図 4,5】を考案した。また、センサ改は防水機能がなく、雨や飲水時の被水で破損する恐れがあったが、基盤に防湿コーティング剤を塗布することで、1 分間の流水や、10 秒間の水没後でも問題なく動作できる耐水性を確保することに成功した。これらベルト改と防湿コーティング済みセンサ改を用いた治具を 4 頭飼育、野外運動場ありの群飼房で試用したところ、4 か月以上の連続測定が可能であった。

尚、センサ改は電池式で約半年は交換なしの連続測定が可能である。

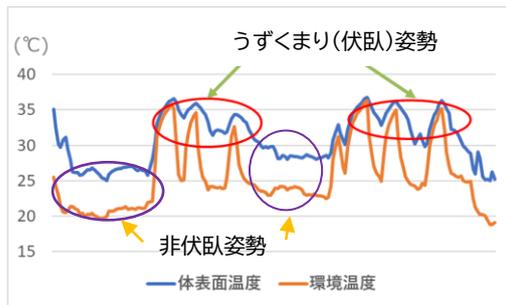


図 12 うずくまりの姿勢時の温度変化

### 試験 3. 体温モニタリングシステムの開発及び実証試験

試験 2 で取得したデータを考慮し、体温モニタリングシステムのアルゴリズムを試作した。まず、①:35°C以上であること、②:①の温度が 1 分以上持続し、次に①を満たす温度が出現するまでの間隔が 5 分以上であること、③:内側の温度と外側の温度の差が 3°C 以内であること、という 3 つの条件を作成し、取得温度データに対して①から順番に条件判定を行って、全て満たしたもののみをうずくまり姿勢時の温度として抽出した。そして抽出した温度について、過去 1 週間の平均（データが 1 週間に満たない場合、現在存在するデータの平均）と比較し、2°C 以上高い場合に異常と判定し、警報メールの送信を行うこととした。

このようなアルゴリズムで作成したモニタリングシステムと試験 2 で作成した治具を用いて行った実証試験では、試験期間中に肺炎 3 例、熱発 1 例、下痢 1 例、細菌性関節炎 1 例の計 6 例が発生し、うち肺炎 1 例を除く計 5 例についてシステムで発熱を検知することに成功した【図 13】。

検知することができなかった肺炎の 1 例については、疾病罹患期間中に【図 12】のようなうずくまりの温度上昇が一切確認できなかったことから、うずくまり動作を全く行っていなかったと考えられる。ただし、疾病罹患期間以外では平均して 1 日に 10 回程度うずくまりによる温度上昇が確認されている。このことから、肺炎に罹患したことによるうずくまり回数の減少も考えられたが、ほか 2 例の肺炎事例では特にそういった傾向は見られず、この牛特有の事例であると推察される。

		2021/10/24			2021/10/24			2021/10/24			
		3~8時まで			9~14時まで			15~20時まで			
		温度(°C)	うずくまり回数	異常	温度(°C)	うずくまり回数	異常	温度(°C)	うずくまり回数	異常	
1	810323A5	最新	36.3	3	-	37.3	1	-	36.0	3	-
	ペッコ	前1週間	37.3	2	-	37.3	2	-	37.3	2	-
2	810323C4	最新	35.4	1	-	39.5	1	異常	35.8	1	-
	モモ	前1週間	37.3	1.6	-	37.3	1.6	-	37.3	1.6	-

図 13 熱発を検知したモニタリングプログラム

### ・総括

以上の試験より経時的体温モニタリング装置及びプログラムについてプロトタイプのは作製には成功したといえる。ただし、試験 3 の実証試験で見られた疾病の際うずくまり回数が減る現象や、夏季の夜間モニタリング、より有効な温度抽出条件等、検討の余地は多くあるため、他の農場でも実証試験を重ね、ブラッシュアップを行っていく必要があると考えられる。

## II. 脈拍モニタリングに関する試験

### 試験 1. 脈拍数の測定方法の確立

脈拍数と心拍数との相関は尾根部腹側で最も高く ( $r^2=0.7703$ )、頸で最も低かった ( $r^2=0.087$ )。耳では被毛がない部位 ( $r^2=0.5657$ ) で測定した際は、被毛がある状態 ( $r^2=0.2585$ ) と比較し高い相関が得られた。以上より、被毛の有無が非常に大きな影響を与えることが示された。

このことから、脈拍の測定部位としては尾根部腹側を採用した。また、装着方法を検討した結果、尾部腹側に押し当てつつ【図 14】、自着性伸縮包帯で巻いて固定【図 15】することで長期の装着が可能であったため、この方法を採用した。ただし、この方法では約 2 週間以上の装着で尾部にうっ血が見られた事例もあり、より長期の装着は推奨されない。

また、POLAR OH1 以外の脈拍センサについても、同じく POLAR 社の POLAR VANTAGE【図 16】、グンゼ株式会社の試作品脈拍センサ【図 17】の 2 つについて尾根部で脈拍の測定を試したが、POLAR VANTAGE、試作品ともにデータを取得できなかったため、どのような脈拍センサでも同様の方法で脈拍を測定できるわけではないことも判明した。要因として、センサに用いられる光線の強度・種類、尾部腹側への密着度等が考えられるが、明確な原因を明らかにするためにはさらなる検討が必要である。



図14 尾部腹側に POLAR OH1 を押し当てる様子



図15 自着性伸縮包帯により POLAR OH1 を装着した子牛



図16 POLAR VANTAGE(POLAR JAPAN)



図17 試作品脈拍センサ(グンゼ株式会社)

#### 試験2.皮膚が黒い牛での脈拍数測定

POLAR OH1 は光を血管に照射することで脈波を算出するため、皮膚が黒いと正確に測定できない可能性があったためこの試験を行った。

結果、尾根部腹側の皮膚が黒い牛でも心拍数と高い相関があることがわかった( $r^2=0.897$ )【図.15】。

尾部腹側の皮膚が薄く、尾動脈がすぐそばを走行していることから皮膚が黒くても血管の収縮をとらえられたためと考えられる。

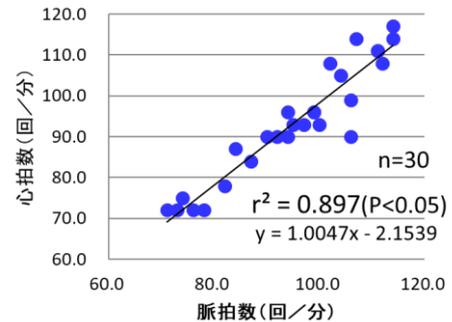


図15 黒毛和種における脈拍数 (POLAR OH1) と心拍数 (聴診器) の相関

#### ・総括

試験1、2の調査結果より、安静時であればPOLAR OH1を用いて簡易に脈拍数を測定できることがわかった。装着方法としては試験1での方法(尾根部腹側の尾静脈上にセンサが位置するようにセンサを自着性伸縮包帯で固定し、ずれないように固定)で約2週間の固定が可能である。

ただし、課題としてPOLAR OH1の連続測定可能時間は約12時間であり、これを超える場合、都度充電する必要がある点と遠隔地でデータの閲覧ができない点がある。このため、獣医師による診療の際、興奮による頻脈で正確な脈拍数を把握できない場合や、治療後の脈拍数の推移を確認したい場合等に短期的に利用することで、診療に係る時間を短縮するといった使用法が考えられる。今後POLAR OH1よりも連続稼働時間が長く、牛体にも反応する脈拍センサが登場した場合、より長期間のモニタリングが可能となるが、現在の装着法では最長2週間であるため、新たな装着法の検討が必要であると考えられる。

尚、現在POLAR OH1は販売終了されており、後継機であるPOLAR VERITY SENSE(¥14,080)が販売されている。

投稿

#### 引用及び参考文献

- 1) 栃木県試験研究機関連絡協議会. 横断的共同研究報告平成22年度(2010)

- 2) 鍋西 久. ICT を活用したウシの体表温度モニタリングによる健康管理効率化技術の開発. 畜産の情報 326号,51-63(2016)
- 3) 福井陽士、新井鐘蔵、榊原伸一、澤田浩. 赤外線サーモグラフィを用いた健康牛における体表各部の表面温度解析及び左右差の検討. 日獣会誌 67, 249～254(2014)
- 4) 情報通信研究機構.牛の発情検知システムによる繁殖農家と畜産技術者との情報通信ネットワーク形成を目的とする研究開発 平成 20 年度成果報告書(2009)