

9 預託牧場の子牛導入時における体表温センサを用いた発熱検知と関連要因の解析

県中央家畜保健衛生所

安西 真奈美、加藤 貴誉湖、米山 州二、岡崎 克美

はじめに

畜産の現場では、生産性の向上を目的とした農場の大規模化が進み、一人当たりの管理頭数が多くなっていることから、飼養管理の効率化や省力化が課題となっている。また、大規模化した農場では、1頭毎に丁寧に管理することが困難であることから、疾病の発生や事故の多発が懸念されている。特に、子牛の肺炎は、宿主、病原体および環境要因が複雑に関連する複合症（Bovine respiratory disease complex: BRDC）で、大規模農場ほど発症初期に発見することが困難である。その被害は、平成29年度家畜共済統計表によると、年間の呼吸器病の死傷事故頭数は、17,286頭で全体の8.2%（乳用牛:7,320頭4.9%、肉牛:9,966頭15.5%）、病傷事故頭数は2,414,772頭で全体の21.5%（乳用牛:121,833頭5.0%、肉用牛:396,706頭36.0%）と大きな割合を占め、甚大な経済的損失を招いている。

その対策として、AI(Artificial Intelligence:人工知能)を活用した飼養管理方法が注目され、様々な種類のウェアラブルセンサが開発されてきた。これまでに、加速度センサ、心拍計、温度センサ等を用い、高精度な発情検知や分娩予測が可能であると報告¹⁾、²⁾、³⁾されているが、子牛の呼吸器病の発症を正確に検知するセンサの報告⁴⁾は少ない。呼吸器病発症の早期発見のためには発熱、呼吸促進、心拍数の増加等の初期症状を捉えることが重要であり、特に発熱に注目し、発熱検

知を目的とする体表温センサ(以下、「センサ」)の開発が国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 動物衛生研究部門において行われている。今回、そのセンサの実証試験に参加する機会を得て、群導入子牛に開発中のセンサを装着し、その後の呼吸器病による発熱検知と呼吸器病に関連する要因の関連性を調査したので報告する。

材料及び方法

1 体表温センサ

本センサは、体表温度を測定することを目的としたウェアラブルセンサであり、子牛の尾根部腹側にベルトで固定して使用する。(図1)。センサから得られたデータは10分間隔でクラウドに転送され、クラウドからデータを取り出してPC上で解析を行い、得られた体表温から直腸温の推定値である補正体表温を算出した。この補正体表温は、これまでの実証試験で実測した直腸温度とほぼ一致することが確認されているが、興奮などによる一時的な体温の上昇も発熱として検知する特徴が



センサの基盤

25×20×10mm



図1 体表温センサと装着時の写真

ある。そこで、発熱の基準を 39.7℃と設定し、それを越えた発熱を 24 時間で積算し、発熱の程度と時間を加味した発熱積算値を新たな指標とした(図 2)。発熱積算値は、一時的な体温の上昇や微熱を除外できることが特徴で、この値が高い個体ほど 39.7℃以上の発熱が一定時間持続していることを示す。本試験では、朝 6 時から翌朝 6 時までの 24 時間で発熱積算値を算出し、この値が 1 以上を示した個体を発熱検知として個体番号を牧場に FAX で報告し、その報告をもとに作業員が当該牛を確認後、必要に応じて牧場専属獣医師の診察及び治療を実施した。

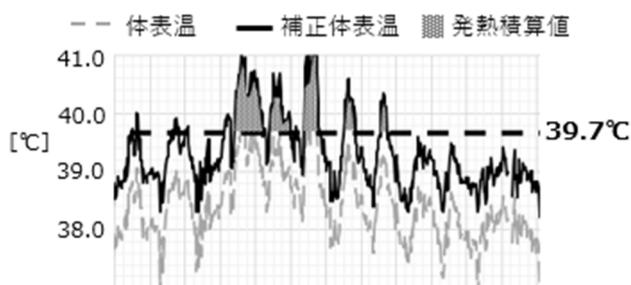


図 2 体表温センサデータの解析

2 調査方法

試験期間は、呼吸器病の多発する冬季に設定し、平成 30 年 12 月 6～27 日の 22 日間とした。預託牧場に導入された 4～6 か月齢の雌のホルスタイン種 50 頭のうちセンサを装着した 39 頭を調査対象とした。そのうち 10 頭を定期採材牛として採血及び鼻腔スワブの採材を行った。採材した鼻腔スワブは PBS に懸濁し、検体とした。採材日は群導入日(0d)、5、8、11、14、21 日目の計 6 日間とした。また、採材日に呼吸器症状を呈している個体についても採材を行った。

3 環境データの採取

環境データは、簡易型気象観測装置

(Precision Weather Station Vantage Vue、Davis Instruments) を用い、気温、風速、湿度を 24 時間連続で採取した。このデータは、PC にストックし、試験終了後に呼吸器病との関連を解析した。

4 血液学的検査

全血球計算は、EDTA 血を検体として血球数算定全自動血球計数機 (Celltac Alpha MEK-6450、日本光電) を用いて測定した。また、炎症の指標として、血清を用いてハプトグロビン (ヘモグロビンバインディングアッセイ) を測定した。

5 臨床症状スコア

牧場作業員の作業時に元気、食欲、鼻汁の有無と性状、発咳の有無の 4 項目の記録を依頼し、獣医師の診察を行った子牛については肺音の性状をカルテから抽出した。正常な個体を 0 点、重度な異常を示す個体を 2 点、その中間を 1 点として数値化し、最終的に全ての項目を合算した数値を臨床症状スコアとして解析を行った (表 1)。

表 1 臨床症状スコアに用いた項目と点数

症状	0点	1点	2点
元気	あり	やや無し	無し
食欲	あり	やや無し	無し
鼻汁	無し	ややあり/水様性	あり/膿性
発咳	無し	ややあり	あり
肺音	正常	やや粗造	あり/粗造

6 微生物学的検査

ウイルス検査は、牛コロナウイルス (BCV)、牛パラインフルエンザウイルス 3 型 (PI3V)、牛 RS ウイルス (BRV)、牛ウイルス性下痢ウイルス (BVDV)、牛アデノウイルス (BAV) に

ついて、定法により遺伝子検査 (PCR) を行った。細菌検査は、定法により菌分離を行い、生化学性状 (ID テスト・HN-20 ラピッド、日水製薬株式会社) により菌種を同定した。

7 統計解析

相関解析については、各々の項目について Spearman の順位相関解析を行った。次に、個体毎の発熱検知報告回数を基に 4 群に分類した各群の個体治療実施率について、Fisher の正確検定により解析した。同様に、呼吸器病が多発した 14 日目の発熱検知報告の有無で 2 群に分類した各群の個体治療実施率についても Fisher の正確検定により解析した。血液学的検査結果については、治療への寄与度を調べるために、治療の有無を目的変数、各項目を説明変数としてロジスティック回帰分析を行った。さらに、有意に治療に寄与することが示されたハプトグロビンについて、治療が必要であると判断するカットオフ値を調べるために ROC 解析を実施した。

結果

1 総発熱検知回数と治療回数の関連

22 日間の試験期間では、総発熱検知回数が多くなるほど治療回数も多く、相関係数 0.64 で有意な正の相関を認めた ($P < 0.01$)。

また、総発熱検知報告回数を 0 回、1~4 回、5~9 回、10 回以上の 4 群に分類し、群毎に個体治療を実施した割合を比較した。発熱検知回数が 0 回と 1~4 回の群の個体治療実施率は、それぞれ 0% (0/10 頭)、6.3% (1/16 頭) であったが、5~9 回は 55.6% (5/9 頭、 $p < 0.05$)、10 回以上は 100% (3/3 頭、 $P < 0.01$) と 4 回以下の群と比較して有意に個体治療実施率が高かった (表 2)。

表 2 個体毎の総発熱検知報告回数と個体治療実施率との関連

発熱検知報告回数	個体治療		実施率 (%)	
	実施 (頭)	実施せず (頭)		
0回 (n=10)	0	10	0/10 (0%)	a
1-4回 (n=16)	1	15	1/16 (6.3%)	a
5-9回 (n=9)	5	4	5/9 (55.6%)	b
10回以上 (n=3)	3	0	3/3 (100.0%)	bc

[Fisherの正確検定] *a vs b $p < 0.05$, a vs c $p < 0.01$

表 3 14 日目の発熱検知報告の有無と個体治療実施率との関連

発熱検知報告	個体治療 (頭)		個体治療実施率 (%)	
	実施	実施せず		
あり (n=5)	3	2	3/5 (60.0%)	a
なし (n=13)	1	12	1/13 (8.3%)	b

[Fisherの正確検定] * a vs b $p < 0.05$

2 群導入後 14 日目における発熱検知情報と治療実績との関連

呼吸器症状を呈する個体が最も多かった 14 日目では、個体毎の発熱積算値が高いほど臨床症状スコアが高く、相関係数 0.54 で有意な正の相関を認めた ($p < 0.05$)。また、発熱検知報告ありの群と報告なしの群に分類し、群ごとの個体治療実施率を比較したところ、報告ありの群は個体治療実施率 60% (3/5 頭) と報告なしの群よりも有意に高い個体治療実施率を示した ($p < 0.05$) (表 3)。

3 群導入後 14 日目における血液学的検査と治療の有無との比較

ヘマトクリットは、治療群で低い値を示し、単球数とハプトグロビンは、治療群で高い値

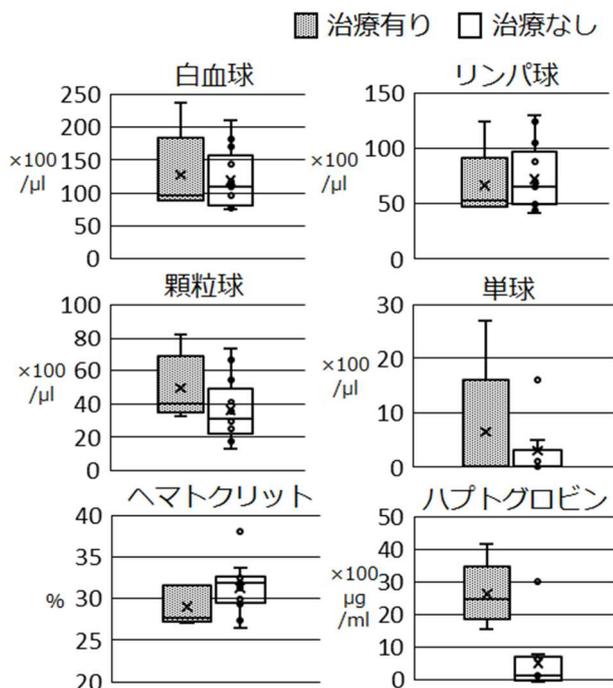


図3 治療の有無で分類した14日目の血液学的検査結果

を示す傾向にあったが、総白血球数、リンパ球数、顆粒球数には傾向は認められなかった(図3)。一定の傾向が認められた3項目について個体治療との関連を調べたところ、ハプトグロビンがオッズ比1.2で有意に治療に寄与するものと考えられた($P < 0.05$)。一般的には、ハプトグロビンは $500 \mu\text{g}/\text{ml}$ 以上で炎症ありと判断する指標として用いられるが、本試験の結果では、個体治療群は平均 $2603.3 \mu\text{g}/\text{ml}$ と高い値を示した。そのため、個体治療が必要であると判断するハプトグロビンのカットオフ値を調べたところ、カットオフ値を $1537.1 \mu\text{g}/\text{ml}$ と設定すると、曲線下面積0.938、特異度:92.3%、感度:100%、陽性的中率83.3%、陰性的中率100%の精度で治療個体を予測できるものと考えられた。

4 発熱検知頭数と環境要因の関連

環境要因について、試験日毎の最大風速、

最高気温、最低気温、日較差、湿度の5項目と発熱検知頭数の関連を調べた。最大風速と発熱検知頭数は相関係数0.44で有意な正の相関を認めた($p < 0.05$) (表4)。

表4 群導入時の個体情報と発熱検知回数との関連

項目	相関係数	P値
最大風速	0.44	0.04
最低気温	-0.02	0.15
最高気温	0.02	0.93
日較差	0.12	0.59
湿度	-0.23	0.31

[Spearmanの順序相関係数]

5 発熱検知回数と導入時の個体情報との関連

群導入時の日齢、胸囲、体高、推定体重、牧場までの移動距離、除角の有無の6項目とその後の発熱検知回数との関連を調べた。これら6項目と、発熱検知回数に関連は認められなかった。

6 微生物学的検査

ウイルス検査で検出されたのはBCVとBAdVの2種で、BRSV、PI3V、BVDVは検出されなかった。PCR陽性頭数の推移をみると、群導入直後に群内へBCVによる感染が広がり、8dでは100% (5/5頭)が陽性を示し、その後漸減した。BAdVは、最終日の21dにのみ20% (1/5頭)で陽性を示した(表5)。

細菌検査では、*Mannheimia haemolytica* (以下、*M. haemolytica*)と*Pasteurella multocida* (以下、*P. multocida*)、および*Mycoplasma bovirhinis* (以下、*M. bovirhinis*)が検出された。これらは群導入日には検出されず、その後、*M. haemolytica*と*P. multocida*は8d以

表 5 鼻腔スワブの微生物学的検査結果（陽性頭数の推移）

検出された微生物	導入後日数					
	0d	5d	8d	11d	14d	21d
牛コロナウイルス (n=5)	0 (0%)	4 (80%)	5 (100%)	4 (80%)	3 (60%)	2 (40%)
牛アデノウイルス (n=5)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (20%)
<i>Mannheimia haemolytica</i> (n=10)	0 (0%)	0 (0%)	2 (20%)	6 (60%)	3 (30%)	7 (70%)
<i>Pasteurella multocida</i> (n=10)	0 (0%)	0 (0%)	1 (10%)	0 (0%)	2 (20%)	3 (30%)
<i>Mycoplasma bovirhinis</i> (n=10)	0 (0%)	3 (30%)	5 (50%)	5 (50%)	6 (60%)	2 (20%)

降、*M. bovirhinis* は 5d 以降で検出された。*M. haemolytica* については、21d で 70% (7/10 頭) もの陽性割合を示したが、センサによる発熱検知情報、臨床症状スコア及び治療回数との関連は認められなかった。

考察

センサは、装着する手間を除けば、全く人員を要することなく子牛の発熱を検知することができた。発熱検知回数が 5 回を超えると個体治療実施率が有意に増加していたことから、治療が必要な個体を早期発見しているものと考えられ、その回数により治療の必要性を判断できると考えられた。なお、発熱積算値は発熱の程度を示す指標であるが、臨床症状スコアの悪化と関連することから、発熱積算値から呼吸器病による一般状態の悪化も推測できるものと考えられた。また、本試験では発熱検知の基準として発熱積算値を 1 以上と設定したが、農場の方針によりこの値を調整することで検知レベルの調節が可能であると考えられた。

微生物学的検査結果と発熱検知情報等に

ついては、本試験では関連が認められなかったが、過去の試験では、重度な高熱を長期間検知した個体から *M. haemolytica* や *Histophilus somni*、*Mycoplasma bovis* が検出されている。センサは生体の防御反応としての感染による発熱を的確に捉える一方で、今回のように *M. haemolytica*、*P. multocida*、及び *M. bovirhinis* が検出されても発熱を検知しないことがある。これらの細菌は鼻腔内の常在菌であり、日和見感染であるために発熱していないものと考えられた。また、炎症の指標であるハプトグロビンも、微生物学的検査結果との関連は認められなかったが、治療との関連が強いことが示された。今後も、センサによる発熱検知情報を蓄積するとともに、この情報とハプトグロビン値や治療実績との関連を調査し、リスクの高い個体の判別が可能か解析を進めていきたい。

関連要因を解析したところ、この牧場における環境中のリスク因子は最大風速であることが示され、防風設備を強化することで呼吸器病が多発するリスクを抑制できると考えられた。一方で、群導入時の月齢、胸囲及び牧

場までの移動距離等の個体条件は、その後の発熱検知回数と関連が認められなかったことから、牧場側の入場条件等の設定が有効に働いているものと考えられた。

以上のことから、センサは人員を要せずに個体の発熱検知が可能で、これら情報を環境対策や呼吸器病の早期発見・早期治療に繋げることが可能であると考えられ、飼養管理の省力化と効率化が期待される。

謝辞

本試験は、革新的技術開発・緊急展開事業（うち人工知能未来農業創造プロジェクト）「AIを活用した呼吸器病・消化器病・周産疾病の早期発見技術の開発」により実施されました。

多大なるご指導をいただいた国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 動物衛生研究部門 病態研究領域 生化学ユニットの山中典子先生、宗田吉広先生、尾澤知美先生及び農研機構 本部の高橋雄治先生に感謝します。

参考文献

- 1) Dolecheck K. A., et al.: *J. Dairy Sci*, 98, 8723-8731 (2015)
- 2) Borchers M. R., et al.: *J. Dairy Sci*, 100, 5664-5674 (2017)
- 3) 檜垣彰吾ら: 家畜診療, 65 巻 7 号, 427-442 (2018)
- 4) Schaefer A. L., et al.: *Res Vet Sci*, 83, 376-384 (2007)