

# ICT・ロボット技術を活用した大家畜の効率的飼育管理技術の確立

奥平季之、三好勇紀<sup>1)</sup>、川田智弘

1) 現 食肉衛生検査所

## 要 約

本研究は、自動搾乳システム (Automatic Milking System : AMS) によるモニタリングデータを活用し、乳牛の周産期疾病および乳房炎の予測・診断補助の可能性を検討したものである。試験Ⅰでは、AMSで得られる乳量・乳質・体重・反芻時間と血液検査値との関連を解析したが、乳熱や起立不能症、胎盤停滞といった周産期疾病の発症を予測できる明確な相関は認められなかった。特に乳熱を伴わない起立不能症は、AMSや血液データからの事前把握が困難であり、血液や代謝指標を含めた総合評価の必要性が示唆された。試験Ⅱでは、AMSデータと乳房炎起因菌の関連を解析した結果、大腸菌性乳房炎では発症直前に乳量急減や伝導率上昇など特徴的変化が確認され、早期治療により重症化回避が可能であった。黄色ブドウ球菌 (*Staphylococcus aureus* : SA) 性乳房炎は体細胞数の変動を主体とし再発傾向が強く、環境性ブドウ球菌 (ENS) やレンサ球菌は軽症で予後良好であった。これらの結果から、AMSは周産期疾病予測には限界があるものの、乳房炎の病原体別パターン把握に有効な診断補助ツールとなり得ることが明らかとなった。

## 目 的

AMS は、24 時間無人で搾乳を行うことを可能とし、酪農における省力化技術として普及が進んでいる。AMS には乳量、乳質、乳温、電気伝導率、反芻時間、活動量などをリアルタイムに測定するセンサーが搭載されており、作業の効率化に加え、疾病の早期検知や健康管理への応用が注目されている。国内でも、伊藤<sup>1)</sup> が、電気伝導率や体細胞数といった乳汁成分の変化を AMS で把握することにより、潜在性乳房炎の早期発見が可能であると報告している。また篠塚<sup>2)</sup> は、乳房炎の臨床現場において乳汁の導電率や体細胞数の指標に基づく診断の有効性を指摘しており、同時に単一指標に依存する診断は感度や特異度の面で限界があることも明らかにしている。

さらに、国内の試験研究機関においても、AMS やセンサーを用いた乳牛健康管理技術の開発が進められており、大和田<sup>3)</sup> は、搾乳ロボットやウェアラブルセンサーを組み合わせたモニタリングによって、乳牛の個体情報を高度化し、疾病兆候をリアルタイムに把握する取り組みについて報告している。しかし一方で、乳熱や起立不能症などの周産期疾病は血液検査や代謝指標と関連が深く、AMS の乳量や反芻時間といった行動指標のみで事前に予測することは難しいとの見解も示されている。

このように、AMS は乳房炎の早期発見において有

効なツールとなり得る一方で、周産期疾病の予測には限界があることが国内外で指摘されている。

本研究では、AMS から得られるモニタリングデータと血液検査値や栄養状態との関連を解析し、周産期疾病の予測可能性を検討するとともに、乳房炎に関しては起因菌ごとに特徴的なパターンを抽出し、AMS の診断補助としての有効性を明らかにすることを目的として、試験Ⅰ及び試験Ⅱを実施した。

## 試験Ⅰ AMS モニタリングデータおよび血液検査と疾病データの解析

### 材料及び方法

本研究では、搾乳ロボットのモニタリング機能により、乳量、乳質、体重、反芻時間といった生産および行動データを収集した。また、血液検査および栄養状態に関するデータを併せて取得した。供試牛は泌乳初期、最盛期、中期、後期の四つの時期に区分し、それぞれの群に 5 頭ずつを割り当てて調査を行った。血液検査では、グルコース (Glu)、総コレステロール (T-Cho)、総蛋白 (TP)、尿素窒素 (BUN)、アルブミン (Alb)、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ (AST)、ガンマグルトアミルトランスフェラーゼ (GGT)、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg)、グロブリン (GLOB) を測定し、あわせてボディコンディションスコア (BCS) を評価した。これらのデー

タに基づき、乳熱や起立不能症、胎盤停滯などの周産期疾病の発生件数を集計し、AMS モニタリングデータや血液検査結果との関連を検討した。

### 結果及び考察

AMS から得られた乳量や反芻時間などの行動・生産データと血液検査値を照合し、周産期疾病の発症と関連性を検討した。周産期疾病の発生状況は図1のとおりであった。また、乳熱の発生は3産以上の牛で多く認められた(図2)。一方で、乳熱を伴わない起立不能症については、血液検査によるCaの変動(図3)やAMSデータのいずれにも発症を示唆する異常はみられず、疾病の発生予測は困難であった。この点は、既存研究においても

低Ca血症の多くが無症候性であると指摘されていることと一致する。

表1は起立不能症に陥った1頭の前産次の乳期別の血液検査結果であるが、いずれの乳期においても大きな異常値は認められなかった。なお、胎盤停滯はPGを用いた分娩誘起処置に起因する可能性が考えられた、以上から、乳熱や起立不能症、胎盤停滯といった周産期疾病の発症を事前に予測できるような明確な相関は確認されなかったことから、周産期疾病の発症予測にはAMS単独では限界があり、血液や代謝指標を含めた総合的な評価が今後の課題であると考えられた。

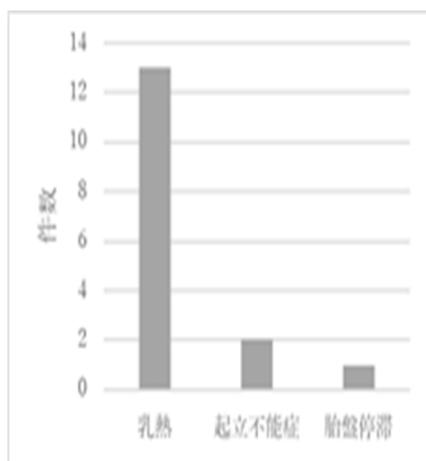


図1 周産期病の発生件数

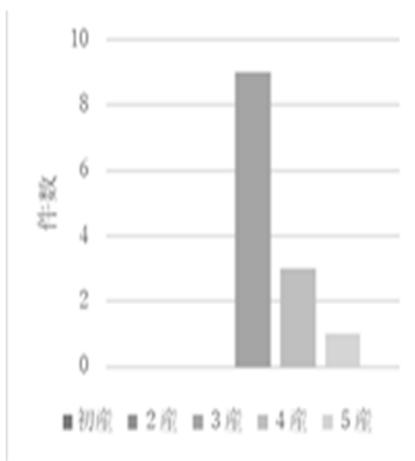


図2 乳熱の産次別発生件数

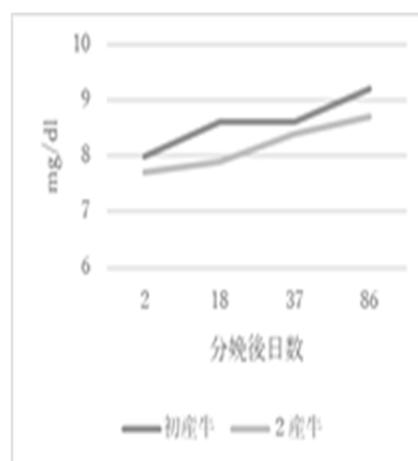


図3 分娩後の血中Caの推移

表1 起立不能牛の前産の血液検査結果

検査項目	調査乳期				正常値
	初期	最盛期	中期	後期	
GLU(mg/dl)	63	53	53	53	45~75
ALB(g/dl)	3.4	3.2	3.3	3.3	3.50 ± 0.35
TP(g/dl)	6.9	6.6	7.1	7.1	7.10 ± 0.55
BUN(mg/dl)	12.5	10.1	9.4	9.4	10~20
GGT(U/l)	36	44	47	47	15.7 ± 4.0
IP(mg/dl)	4.5	6.8	4.0	4.0	4.0~8.0
GOT(U/l)	74	63	74	74	54.7 ± 13.4
TCHO(mg/dl)	158	152	170	170	80~300
Ca(mg/dl)	9.0	8.4	8.4	8.4	8.5~12.0
A/G(g/dl)	1.0	0.9	0.9	0.9	1.00~0.21
BCS	3.00	3.00	3.00	3.00	

## 試験Ⅱ AMS モニタリング乳質データと各乳房炎の パターン解析

### 材料及び方法

試験Ⅱとして、令和6年4月から12月までの期間に当センターで発生した乳房炎症例を対象とし、AMS のモニタリング機能を用いて乳量、体細胞数 (SCC)、電気伝導率、乳温、活動量、採食量および反芻時間に関するデータを収集した。乳房炎の起因菌の同定は、当センター内において簡易的なスクリーニング検査を実施して行い、判定が困難な症例については県北家畜保健衛生所に依頼して検査を行った。さらに、得られた結果を基に乳房炎を①大腸菌性乳房炎、②SA 性乳房炎、③それ以外の乳房炎の三つに分類し、それぞれについて AMS のモニタリン

グデータとの関連性を検討した。

### 結果及び考察

AMS データと乳房炎起因菌との関連を解析した結果、簡易検査で病原性大腸菌が検出された3例の乳房炎では発症直前に乳量の急減、乳温の低下、乳汁電気伝導率の異常上昇が認められ、さらに活動量、採食量、反芻時間が急激に低下する特徴的な変化がみられた (表2, 図4, 5)。こうした急性の変動は国内の報告 (伊藤<sup>1)</sup>、篠塚<sup>2)</sup>) においても同様に指摘されており、国外でも乳房炎の臨床発症に先立ち複数の指標が顕著に変化することが報告されている (Guo et al.<sup>4)</sup>, Rial et al.<sup>5)</sup>)。これらの所見から、AMS を用いた早期検知と迅速な治療介入によって重症化や廃用を防止できる可能性が示唆された。

表2 大腸菌性乳房炎牛のモニタリング値

日付	SCC	乳温	伝導率(右後)	期待乳量比
11月5日		38.2	72	0.9
11月6日	10	38	73	1.05
11月7日	4	<b>37.3</b>	<b>93</b>	<b>0.6</b>
11月8日	<b>237</b>	<b>37.3</b>	<b>78</b>	<b>0.8</b>
11月9日	<b>2616</b>	<b>37.7</b>	<b>77</b>	<b>0.8</b>
11月10日	2366	37.7	77	0.93
11月11日	887	38.2	75	1
11月12日	299	38.1	73	1
11月13日	89	38.2	76	1.07
11月14日	22	38.3	77	0.78
11月16日	22	38.5	73	0.92
11月17日	12	38.5	75	1.14
11月19日	9	37.7	75	1
11月20日	2	38	72	1.04

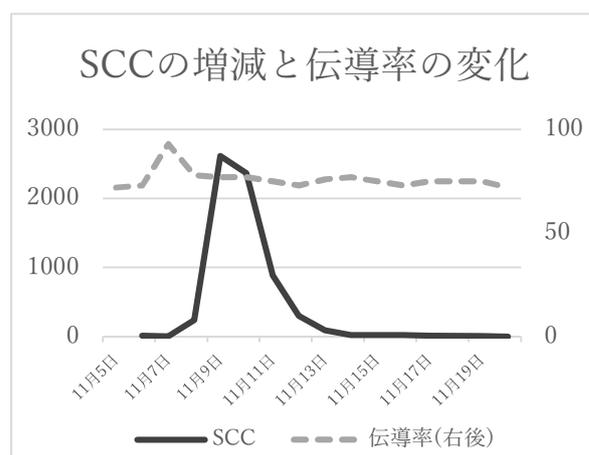


図4 大腸菌性乳房炎牛の SCC 変化

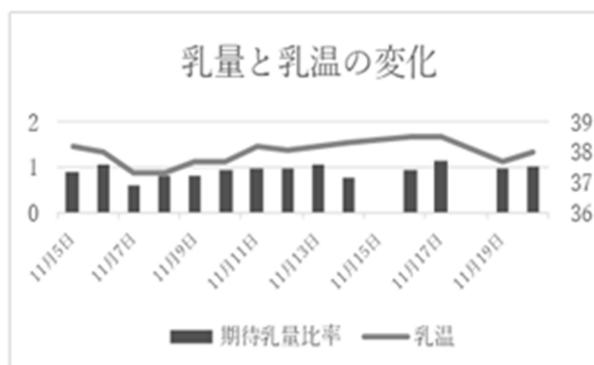


図5 大腸菌性乳房炎牛の乳量・乳温の変化

簡易検査でSAが検出された5例の乳房炎では、活動量や反芻といった行動指標には顕著な変化がみられなかったが、体細胞数の増減が顕著であり、再発を繰り返す慢性難治性の傾向が確認された（表3、図6）。この所見は、篠塚<sup>2)</sup>や Brito, L. F et al..<sup>6)</sup>が報告している「慢性再発型SA乳房炎」の特徴と一致しており、治療抵抗性のため早期乾乳や罹患乳房の盲乳化といった外科的対応が必要となる場合があると考えられる。なお、これらの患畜は治療をあきらめ、早期乾乳及び罹患乳房の盲乳化処置を行った。

一方で、CNS やレンサ球菌により起因する乳房炎では、一時的な体細胞数の上昇以外には大きな変化は認められなかった（表4、図7）。これらの症例は一般的な乳房炎治療により速やかに回復し、再発もほとんど確認されず予後良好であり、乳量への影響も見られなかった。既存研究（伊藤<sup>1)</sup>、Stangaferro et al.,<sup>7)</sup>においても、CNS やレンサ球菌による乳房炎は一過性の変化で予後良好であることが示されており、本研究の結果も同様の傾向を示した。

表3 SA性乳房炎牛のモニタリング値

日付	SCC	伝導率	期待乳量比
4月23日	53	69	1.1
4月24日	167	67	0.91
<b>4月25日</b>	<b>1305</b>	<b>73</b>	<b>0.87</b>
4月26日	<b>2810</b>	69	1.07
4月27日	1628	66	1.08
4月28日	2484	68	1.14
4月29日	1068	68	1.15
4月30日	484	67	1.16
5月1日	107	69	0.98
<b>5月2日</b>	<b>384</b>	<b>70</b>	<b>0.79</b>
5月3日	<b>2156</b>	65	1.15
5月4日	1206	65	0.93
5月5日	70	68	1
5月6日	7	67	0.99
5月7日	16	66	0.94
5月8日		66	0.94
5月9日	39	68	1.04
<b>5月10日</b>	<b>214</b>	69	<b>0.68</b>
5月11日	<b>1888</b>	<b>72</b>	1.04
5月12日	1492	68	1
5月13日	347	67	1.11
5月14日	58	69	1.15
5月15日	6	66	0.94
5月16日	1	65	1.13

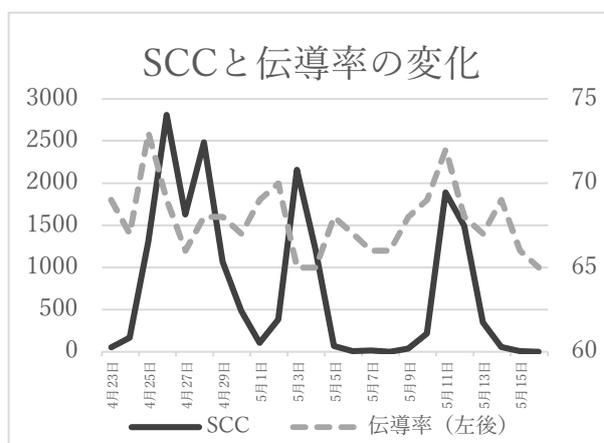


図6 SA性乳房炎牛のSCC変化

表4 CNS乳房炎牛のモニタリング値

日付	SCC	伝導率 (右後)	期待乳量比
10月3日	0	69	1.27
10月4日	38	68	1.31
10月5日	61	74	1.13
10月6日	70	76	1.09
<b>10月7日</b>	<b>293</b>	<b>80</b>	1.08
10月8日	<b>2218</b>	77	1.13
10月9日	821	80	0.64
10月10日	318	77	0.86
10月11日	167	71	1.13
10月12日		72	1.21
10月13日	70	70	1.28

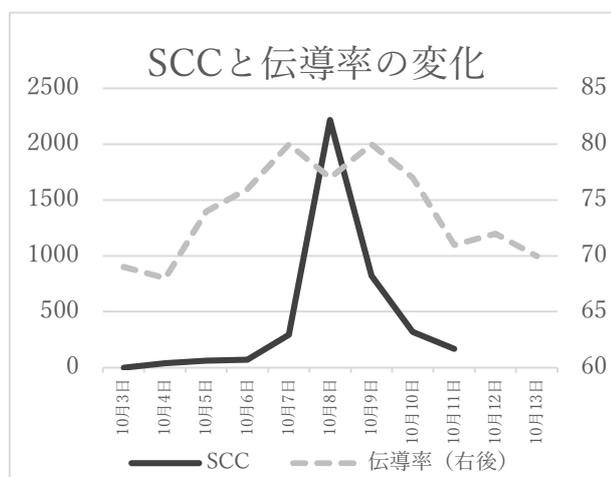


図7 CNS乳房炎牛のSCC変化

### まとめ

本研究では、AMS モニタリングデータの活用可能性について、周産期疾病と乳房炎の両面から検討した。その結果、周産期疾病の一律的な予測は困難であり、AMS 単独では限界があることが明らかとなった。とりわけ乳熱や起立不能症は、血液中Ca濃度の低下が関与するものの無症候性の例も多く、乳量や反芻といったAMS データのみで確実に予測することは難しいことが確認された。Seely et al.<sup>8)</sup>は低Ca血症は血液検査や代謝バイオマーカーを併用することが不可欠とされており、本研究の結果はこれらの報告と一致する。

一方、乳房炎に関してはAMSの有効性が強く示唆された。大腸菌性乳房炎において発症直前に乳量の急減、乳温の低下、電気伝導率の上昇、行動指標の急激な低下といった特徴的変化が確認され、AMSによる早期検知と治療介入により重症化を防げる可能性が高いことが示された。この所見は、同様の報告がなされており(Sun et al.<sup>9)</sup>、Mooyoung et al.<sup>10)</sup>、AMSのデータが臨床現場で実用的に活用できることを裏付けている。さらにSA性乳房炎では、行動変化が乏しい一方で、体細胞数の変動が診断の手がかりとなることが示され、CNSやレンサ球菌による乳房炎は比較的軽症であり、AMSのモニタリングと標準治療により良好な経過をたどることが確認された。

以上の結果から、AMSは周産期疾病の予測には単独では限界があるものの、乳房炎に関しては発症パターンを病原体別に把握できる点できわめて有効な診断補助ツールとなり得ることが明らかとなった。今後は、機械学習を含む高度な解析手法を導入し、AMS由来データと血

液・代謝指標を統合したモデルを構築することで、より正確な疾病予測が可能になると考えられる。こうした技術の発展は、乳牛の健康管理を効率化し、疾病による経済的損失を低減させ、ひいては酪農経営の持続性向上に寄与するものと期待される。

## 参考文献

- 1) 伊藤めぐみ. 2023. 周産期病を予防するために乾乳期に何ができるか. 臨床獣医 41(11), 42-46.
- 2) 篠塚康典. 2015. 牛急性大腸菌性乳房炎の治療と臨床現場でできること. 臨床獣医 33(10), 14-18.
- 3) 大和田勇人. 2021. 搾乳ロボット及びセンシング技術の活用による個体情報高度活用システム. 畜産技術, 797, 2-8.
- 4) Guo, R., Dai, Y., & Hu, J. 2025. Research on the prediction model of mastitis in dairy cows based on time series characteristics. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1575525.
- 5) Rial, C., Laplacette, A., Caixeta, L., Florentino, C., Peña-Mosca, F., & Giordano, J. O. 2023. Metabolic-digestive clinical disorders of lactating dairy cows were associated with alterations of rumination, physical activity, and lying behavior monitored by an ear-attached sensor. *Journal of Dairy Science*, 106(12), 9323-9344.
- 6) Brito, L. F., Heringstad, B. R., Klaas, I. C., Schodl, K., Cabrera, V. E., Stygar, A., Iwersen, M., Haskell, M. J., Stock, K. F., Gengler, N., Bewley, J., Hostens, M., Vasseur, E., Egger-Danner, C. 2025. Using data from sensors and other precision farming technologies to enhance the sustainability of dairy cattle breeding programs. *Journal of Dairy Science*, DOI:10.3168/jds.2025-26554.
- 7) Stangaferro, M. L., Wijma, R., Caixeta, L. S., Al-Abri, M. A., & Giordano, J. O. 2016. Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part I. Metabolic and digestive disorders. *Journal of Dairy Science*, 99(9), 7395-7410.
- 8) Seely CR, Overton MW, Jones BL, Moore DA, Hall JB, et al. 2023. Subclinical hypocalcemia in dairy cows during the transition period: Prevalence and impacts. *JDS Commun.* 4: 25-33.
- 9) Sun, Z., Samarasinghe, S., & Jago, J. 2010. Detection of mastitis and its stage of progression by automatic milking systems using artificial neural networks. *Journal of Dairy Research*. May;77(2).168-75.
- 10) Mooyoung Jung, Seogjin Kang, Eunjeong Jeon, Dong-Hyun Lim, Donghyeon Kim, Jin San Moon, Sang-Hwan Hyun, Seungmin Ha, Effects of subclinical mastitis on automatic milking system data, hematological and biochemical parameters, and milk composition in Holstein cows. *Anim Biosci.* 2024 Aug 27;38(1):166-175. doi: 10.5713/ab.24.0460.

## Abstract

This study assessed the potential of automatic milking system (AMS) data for predicting periparturient diseases and supporting early diagnosis of mastitis in dairy cows. In Study I, AMS-derived indicators (milk yield, milk quality, body weight, rumination time) were analyzed with blood parameters and nutritional status. No consistent correlations were found that could reliably predict periparturient disorders such as milk fever, downer cow syndrome, or retained placenta. Downer cow syndrome without milk fever was particularly difficult to anticipate, indicating the need for complementary monitoring using metabolic biomarkers.

In Study II, the association between AMS data and mastitis pathogens was examined. Coliform mastitis was preceded by distinct changes including a sharp decline in milk yield, reduced milk temperature, elevated electrical conductivity, and decreased activity and rumination; early treatment based on these indicators helped prevent severe outcomes. *Staphylococcus aureus* mastitis was characterized by fluctuating somatic cell counts and frequent recurrence, whereas cases caused by coagulase-negative staphylococci or streptococci showed only transient increases in somatic cell count and responded well to standard treatment.

These findings suggest that while AMS alone is insufficient for predicting periparturient diseases, it provides valuable pathogen-specific information for mastitis management and can support timely interventions in dairy herd health.