

要約

搾乳ロボットは、酪農経営の長時間労働と搾乳時間の固定性を改善するシステムとして期待されているが、高額な投資でかつ規模の経済性が得られにくい技術特性のため、所得は確保されるのか、また所得を確保するためにはどのような対策が可能なのかを明らかにする必要がある。

われわれの検討の結果、①所得の減少と搾乳労働時間の削減の比較において、後者をより高くする酪農家であれば搾乳ロボットは導入されやすいこと、②さらに、削減された搾乳労働時間を外部化していた作業にあてる、搾乳ロボットから得られるデータを適切に活用し、個体販売等を増加させるなどにより、酪農所得の低下は回避されること、③データの活用は牛群改良にも活用可能であることが明らかになった。

I 背景と目的

近年の酪農経営では飼養頭数の増加に伴い1人当たり労働時間が増加している。そのため、労働負荷の軽減・労働時間の削減が重要な課題となっている。農林水産省営農類型別経営統計によると、都道府県の酪農経営平均で、2004年には農業経営関与者1人あたり年間自営農業労働時間は1,992時間であったが、2016年には2,288時間となっており、年間約24時間ずつ増加している。北海道の酪農でも経営関与者1人あたり年間自家農業労働時間は、2004年が2,643時間であったものが2016年には2,816時間と年間およそ15時間弱ずつ増加している。

労働時間の中で大きな割合を占めるのは搾乳作業である。搾乳牛1頭あたりの作業別労働時間を見ると搾乳作業は約46時間と約半分を占めており、2番目に多い飼料調製・給与作業の約28時間を大きく上回っている。くわえて、搾乳作業は、乳牛の泌乳の関係から1日のなかで作業時間が固定されており、毎日決まった時間が長時間拘束されることになる。このことは酪農従事者の日々の生活の自由度をおおしく低下させる要因になっているといえる。搾乳作業の省力化と同時に自由度の向上が実現すれば経営全体の労働時間が大きく軽減でき、酪農家の生活の質の向上にもつながると判断される。

搾乳ロボットはこの搾乳作業を自動化するシステムとして注目されており、北海道においても累計導入戸数も徐々に増加している(図1)。しかしその経営評価については、わが国ではいまだ定まっていない。その理由として、導入戸数がまだ少数であるのに加えて、以下のような理由が存在するためであると考えられる。

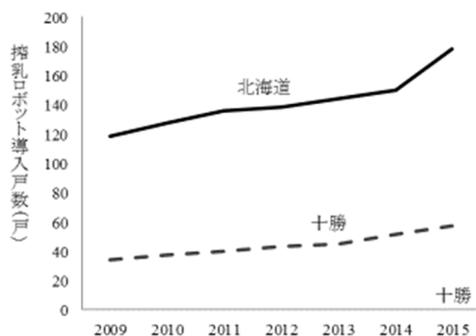


図1 北海道における搾乳ロボット累計導入戸数

資料：北海道農政部生産振興局畜産振興課調べ及び、「十勝畜産統計」より作成

第一の理由は、導入のための費用が高額であるため、所得の向上が難しいのではないかという懸念である。搾乳ロボットは1台が数千万円と高額である。また搾乳ロボットシステムとしては牛舎全体の構造の見直しが必要であることが多いため、ロボット導入に合わせて牛舎の改築も必要になることが多い。さらにはエサ寄せロボットの導入などと合わせて、付帯する設備の投資が相当な金額に及ぶ。現在は畜産・酪農収益力強化整備等特別対策事業(以下畜産クラスター事業)によって対象となる機械施設については半額程度の補助が得られるが、それでも高額であることにはかわりはない。このため減価償却費の増加による所得の減少、借入額の返済のためのキャッシュフローの減少は免れないであろう。

搾乳ロボットでは乳頭へのティートカップの装着は、ロボットがセンサーで行う。このためセンサーが乳頭を識別できなければ自動での搾乳は困難である。一般的に酪農家で飼養されている乳牛のうち、高産次の乳牛など、ロボット搾乳に不適應な個体が2~3割いるといわれている。これに対して北海道では搾乳ロボットに合わせてパイプラインミルクヤーやアプレストパーラーなどと併用することが望ましいとされている。しかし、その場合には労働時間の減少は限定的にならざるを得ないうえに投資が高額にならざるを得ない。

第二はその技術的特性から規模の経済性が発揮されにくいことである。一般に農業生産では、新しい技術の導入に伴って投資が高額に及んだとしても、生産規模を拡大させることで規模の経済を獲得し、生産物単位あたり費用を低下させるという例が少なくない。しかし搾乳ロボットは、搾乳時に1頭の乳牛がロボットを占有するため、1回に1頭しか搾乳できず、1日24時間の中で搾乳できる回数に上限がある。その頭数についてはさまざまな条件によって異なるが、搾乳ロボット1台あたり55頭から60頭程度であるといわれている。このため高額の投資を伴う搾乳ロボットの導入については慎重にならざるを得ないであろう(注1)。

本研究では、搾乳ロボット導入農家におけるデータの精査を通して、その導入が酪農家に及ぼす影響を、主として労働時間と所得の変化に注目して整理し、搾乳ロボットがどのような経営改善効果をもたらしたのかを明らかにする。これらの分析を通して、どのような条件であれば酪農家が搾乳ロボットを導入しやすいのか、また搾乳ロボット導入のメリットを十分引き出すための、取組と今後の活用の可能性について検討する。

注1) 原[1]や山田・岡田[6]参照。千田[4]は搾乳ロボットの導入の効果は顕著に現れているとしている。

II 搾乳ロボット技術の概要

搾乳ロボットは無人で搾乳を行うための装置であり、1990年ごろにオランダで実用機が市販され始めた。搾乳ロボット導入による主なメリットとしては、①搾乳の自動化による労働時間の削減、②頻回搾乳による個体乳量の増加がある(野附[3])。搾乳ロボットはメンテナンスなどの時間を除き1日の大半で稼働させ、そこへ乳牛を自発的に進入させて搾乳を行う。効率的な搾乳のためには乳房内に一定量の乳汁が蓄積されていなければならない。このため、ロボットへの進入・搾乳は適切にコントロールされる必要がある。乳牛の首輪に装着されたタグにより乳牛個体が識別されているが、搾乳に限らず、給餌、疾病管理、繁殖管理などさまざまな面で個体識別・データ活用がなされている。

搾乳ロボットシステムとしては、複数の企業が異なる方式のシステムを提供している。主要な方式としてはストール、搾乳ロボット、飼槽間の移動をコントロールするかしないかで大きく分けられる。コントロールする場合はミルクファースト、またはフィードファーストの方式があり、いずれも乳牛が自発的に搾乳ロボットに侵入する誘因は、飼槽のエサである(注2)。これに対してコントロールしないものはフリーアクセス方式と呼ばれ、この場合は搾乳時に給与される配合飼料が、搾乳ロボットに自発的に侵入する誘因になる。そのため、両者では、飼槽で給与される飼料(PMR, Partly Mixed Ration)の栄養価に差があり、フリーアクセス方式のほうが低い。PMRは、完全混合資料と呼ばれるTMR(Total Mixed Ration)よりも配合飼料の成分が少なく栄養価が低い飼料である。ミルクファースト、フィードファースト方式の場合でも搾乳中に配合飼料は給与されるが、これは、「キックオフ」などと呼ばれる、搾乳中に乳牛が足で搾乳機を蹴って外そうとする動作をおさえるために、気持ちをエサに向けさせる程度の役割だといわれている。

フリーアクセスの場合、乳牛は自由に搾乳ロボットに侵入できるが、前回搾乳からの時間が短く十分な搾乳量が見込まれない乳牛の進入に対しては、搾乳を行わないよう直ちに出口ゲートが開き、乳牛は放出される(リフェーズされる)。このとき搾乳されるべき牛が侵

入の順番を待っているのであれば、ロボットとしては無駄な時間を費やしていることになり、システムとしては効率性の低下につながる。一方、ミルクファーストの場合は個体識別によってロボットに侵入する前に、ゲートで侵入が許可されるかどうか判断され、許可されない場合は飼槽に誘導される。フィードファーストの場合は、エサ場からストールに戻るときに個体識別のゲートを通り、このとき搾乳されるべき乳牛は搾乳ロボットに誘導される。

以上のように、フリーアクセスの場合はリフューズが発生するが、フィードファースト、ミルクファーストの場合はこれが発生しない点が大きく異なる。搾乳ロボットの普及が進んでいる海外では、フリーアクセスのほうがシェアは高いとされている。

近年の搾乳ロボットでは、搾乳時に体重や配合飼料給与量と残飼量、乳質データ等が蓄積されていく。これにより牛群の泌乳曲線のグラフ表示のほか、産乳とエネルギー補給のバランス、乳脂肪・乳タンパク、ケトosisなどの代謝病発症の危険性が表示され、疾病の早期発見・早期治療につながる。また個体管理のためのタグに内蔵させたセンサーによる活動量や、反芻時間のデータを搾乳ロボットのデータと照らし合わせることで、発情や最適な授精タイミングの情報を得ることも可能となっている。

注2) 小池[2]、高橋ら[5]参照。かつて、乳牛が自発的に搾乳ロボットに進入するのは、乳房に一定の乳汁が蓄積されたため、搾乳されることが目的と理解されていたが、現在は、PMRの普及もあり、飼料摂取が目的であるとの理解が一般的である。

III 所得と労働時間の評価の考え方

一般的に搾乳ロボットは、1台が数千万円と高額な機器である。同時にシステムとして自動搾乳に対応した牛舎レイアウトが必要であり、牛舎の建て直しが必要な場合が多い。合わせて給餌等の自動化のための投資も必要である。そのため、費用計算上は減価償却費が増加し、またキャッシュフローの面ではキャッシュアウトが増加すると考えられている。しかもロボット1台では一度に1頭しか搾乳できないため、1日の搾乳回数にも上限がある。規模の経済によって収益を上げるのも限界がある。

しかしその一方で、搾乳作業は軽減され、労働時間の減少と、労働スケジュールそのものの自由度が高まることから、収益・キャッシュフロー上のマイナス評価と、作業上のプラス評価の比較により、経営者として、また酪農作業従事者としてどちらが大きいのが問題になる。作業時間の減少や、作業スケジュールの自由度の向上に対する評価は、経営者・作業者の主観的なものであることから、個々の評価は異なると考えられる。

つまり減少する所得の評価と、労働軽減の評価を天秤にかけ、どちらを重視するのか、という事である。これは所得を重視する酪農家、労働軽減を重視し生活の質を向上させよ

うとする酪農家など、酪農家の考え方によって評価は様々であると考えられる。一定程度の所得の減少はあるとしても、労働軽減の満足度がそれを上回ると評価する酪農家は搾乳ロボットを導入するであろうし、所得確保を重視する酪農家は搾乳ロボットの導入には消極的になるであろう。

他方、近年の搾乳ロボットでは、付帯するソフトウェアとセンサーによって、乳牛に関する様々なデータが得られる。軽減された搾乳労働によって生まれた時間の余裕を、これらデータの解析にあてて、乳牛疾病の早期発見早期治療に取り組むことで、損失を減らしたり、また発情の発見率を向上させ繁殖成績を向上させることで個体販売を増やすことなどによって所得を向上させることも考えられる。このような場合は、労働時間の削減はやや減少するであろうが、所得の低下もある程度おさえられると考えられる。このような取り組みによって搾乳ロボット導入の評価は異なってくると考えられる。

以上の点を経済学的な観点から説明したのが **図 2** である。

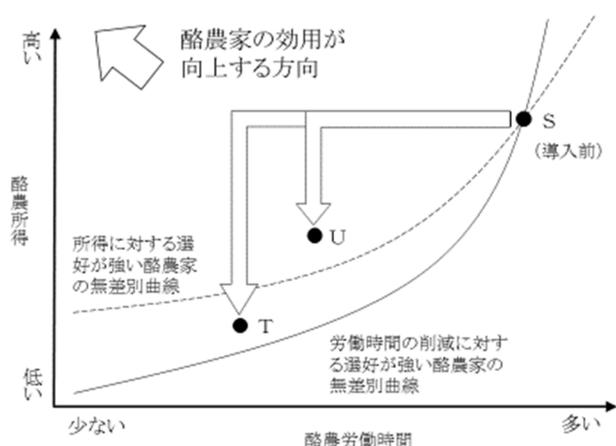


図2 搾乳ロボット導入にかかわる酪農家の選択行動の仮説
資料:筆者ら作成。

搾乳ロボットは労働時間の削減をもたらすが、その反面、導入費用が高額であるため減価却費の増加により酪農所得が低下する可能性がある。このため導入の可否は、酪農家の、労働時間削減に対する選好と所得に対する選好の強さのバランスによって異なると考えられる。

搾乳ロボット導入以前の酪農家の労働時間と酪農所得の組合せを S とすると、これを通る無差別曲線は、酪農家の特性によって異なる。労働時間の削減を好む酪農家の無差別曲線は労働時間の減少と所得の減少の代替関係から、無差別曲線の傾斜がきつくなり(図中では実線で示されている)、また所得増加を好む酪農家の無差別曲線は傾斜が緩やかである(図中では破線で示されている)。

搾乳ロボットの導入の結果、酪農所得の低下と労働時間の削減によって、あらたな組合

せがTになると、労働時間の減少を好む酪農家(実線)では効用水準が改善されているため、搾乳ロボットは導入される。しかし、所得の増加を好む酪農家(破線)では効用水準が低下しているため、導入されないことになる。しかし削減された労働時間で搾乳ロボットによって収集可能な情報を分析することによって、疾病率低下・繁殖成績改善を実現し、酪農所得の減少が抑えられることが考えられる。この結果、労働時間の削減は限定的であったとしても、酪農所得の低下も一定おさえられることによって、新たな所得と労働時間の組み合わせが U になるならば、所得の増加を好む酪農家であっても導入される可能性がある。

以上のことから、搾乳ロボット導入の前後における、酪農所得、労働の実態、搾乳ロボットに付帯して得られたデータの活用とその成果、といった点に焦点を当てつつ分析を進める。

IV 搾乳ロボットの導入効果

1. 調査対象農家の概要

以下では、搾乳ロボット利用形態が異なる北海道十勝地域の2戸の酪農家を比較する。概要を表1に示したが、A牧場は、搾乳を搾乳ロボットのみで行っており、2003年に搾乳ロボットを2台導入し、2011年に後継機種に更新した。労働力は家族2名と月2回のヘルパー利用である。飼養頭数は経産牛134頭、このうち搾乳牛はフリーストール牛舎で110頭を飼養している。B牧場は2005年に搾乳ロボットを1台導入したがパイプラインミルクカーを併用している。労働力は家族2名と雇用労働力1名である。飼養頭数は経産牛120頭で搾乳牛は100頭であるが、搾乳ロボット牛群として64頭をフリーストール牛舎で飼養し、搾乳ロボット不適合牛を含む36頭についてはパイプラインミルクカーを用いてタイストール牛舎で飼養している。

表1 調査対象農家概要(2016年)

	A牧場	B牧場	単位
家族労働力	2	2	人
雇用労働力	0	1	人
ヘルパー利用回数	2	0	回/月
コントラクター利用状況	なし	牧草収穫	
経産牛頭数	134	120	頭
育成牛頭数	112	110	頭
内預託	75	55	頭
飼料畑面積	60	46	ha
牛舎・頭数	搾乳ロボット牛群 FS(110頭)	FS(64頭)	
その他牛群	—	つなぎ(36頭)	
搾乳ロボット台数	2	1	台
その他搾乳方式	—	パイプライン	
粗飼料給与	搾乳ロボット牛群 PMR	PMR	
その他牛群	—	TMR	

資料)聞き取り調査から。

表2で2牧場の搾乳ロボット牛群の成績を検討すると、平均日乳量については、両牧場ともに十勝平均である31.0kgを上回っている。これは頻回搾乳による個体乳量の増加効果も影響していると考えられる。さらにB牧場は低泌乳牛や、搾乳ロボット不適合牛はミルカーで搾乳しているため、搾乳ロボットで搾乳している牛群だけの、平均日乳量や、失敗回数の値はA牧場より優れている。逆にA牧場は乳牛が自発的に搾乳ロボットに進入する程度を示す指標と考えられる平均搾乳回数や平均リフューズ回数の値が高く、牛群全体が搾乳ロボットに馴致されており、労働の省力化がかなりの程度実現していることがうかがえる。

表2 事例牧場における搾乳ロボット牛群の成績

	A牧場	B牧場	単位
ロボット搾乳頭数	55	64	頭/台
平均日乳量	34.8	38.3	kg/日・頭
平均搾乳回数	3.3	2.8	回/日・頭
平均リフューズ回数	2.8	0.7	回/日・頭
失敗回数	4.8	2.4	回/日・台

資料：聞き取り調査より。
注)2016年の実績。

表3は飼養管理にかかわる労働時間を示したものである。両牧場ともに北海道平均と比較すると少なく、特に「搾乳及び牛乳処理、運搬」が大きく削減されていることがわかる。搾乳ロボット導入の効果が顕著に確認されるのであるが、特にA牧場はすべての乳牛の搾乳をロボットが行うため、労働時間及の削減が大幅に進んでいる。さらにこの表には示されていないが、通常の朝夕の搾乳作業が必要ないため、時間の拘束性も相当程度に緩和されている。これにたいしてB牧場は朝夕の2名での搾乳作業は必須であり、労働時間の削減は限定的である。

表3 導入農家の労働時間

	A牧場	B牧場	北海道平均	
			全農家	100頭以上飼養農家
飼料の調理、給与、給水	6.6 (56.1)	8.5 (72.2)	17.6 (149.9)	11.8 (100.0)
敷料の搬入、厩肥の搬出	8.3 (128.7)	8.5 (131.8)	9.6 (149.0)	6.5 (100.0)
搾乳及び牛乳処理、運搬	8.3 (21.6)	20.1 (52.2)	46.5 (120.6)	38.5 (100.0)
合計	23.2 (40.9)	37.0 (65.2)	73.7 (129.9)	56.7 (100.0)

資料)A牧場、B牧場は聞き取り調査から。北海道平均は、「畜産物生産費統計」(2014年、農林水産省)から。

注1) ()内は、北海道の100頭以上飼養農家平均を100とした割合。

2) 単位: 時間/頭・年、%

A 牧場では、削減された労働時間を活用して、それまでコントラクタに委託していた自給飼料にかかわる作業を自らで行うようになった。このことによって労働時間の削減幅は減少すると考えられるが、コントラクタへの支出も削減するため、搾乳ロボット導入による経費の増加を抑制することに成功している。

次に繁殖生成について検討したい。事例牧場では、搾乳ロボットに付帯するソフトウェアと乳牛の首輪に内蔵された加速度センサーによって発情等を的確に把握することが可能になっている。これを利用し、人工受精の成功率を上げ、その結果、分娩間隔と空胎日数を短縮化することが期待されている。

表4は調査農家と十勝平均の繁殖成績を示している。この表で特徴的なことは、B牧場の平均分娩間隔、空胎日数が短いことと、両牧場とも平均授精回数が少ないがA牧場の方がやや値が低いこと、さらにA牧場の除籍牛率が低いことである。両牧場とも平均授精回数は少ないことから、人工受精の成功確率は高く、乳牛の発情情報を適切に活用して受胎率の向上に役立っているということが窺われる。特にB牧場は分娩間隔と空胎日数がともに短い。

表4 調査対象農家繁殖成績

	A牧場	B牧場	十勝平均		単位
			検定実頭数100～149頭規模	1頭あたり乳量11千kg以上	
平均分娩間隔	423	411	427	423	日
平均授精回数	1.9	2.1	2.3	2.3	回
空胎日数	152	132	152	146	日
除籍牛率	24	32	29	29	%

資料) 牧場データは聞き取り調査より。十勝平均は「牛群検定成績集計結果」(2015年、北海道畜産検定検査協会)より。
注) 牧場データは、2015年。

一方、A 牧場の分娩間隔は十勝平均程度である。しかし、その内容は異なる。十勝平均では平均授精回数が多いことから、A 牧場よりも初回受精日が早い。しかしなかなか受

胎せずに何回か人工受精を繰り返した結果が分娩間隔の 423 日である。これに対して A 牧場は十勝平均よりも初回受精日が遅い。しかし少ない回数で受胎していることから、しっかりと発情を見極め、成功する確率が高い時を見極めて受胎しているということである。

これについて A 牧場の実際の対応は、出産時期から逆算して、スケジュール等の関係で適当ではない発情はあえて見送ることもあるということであった。搾乳ロボットから適切な情報を得られるために発情を見極めることが可能であり、受胎率を向上させることが可能になっていると考えられる。

また分娩間隔が長くなっている理由として、A 牧場では、販売できる個体を確保するために除籍率をおさえる必要があるため、分娩間隔が長くなっても初回の発情では人工受精を実施せず、受胎しやすい発情に対して人工受精を実施するような対応をとっているということであった。この点についてくわしくは後に検討したい。

2. 搾乳ロボット導入の経済性の試算

A 牧場の導入事例を想定して、搾乳牛頭数 110 頭の経営に搾乳ロボットを 2 台導入した前後の所得の変化を試算する。その基本的な考え方を以下に示す。

一般的に搾乳ロボットでは 1 日の搾乳回数が増えることで乳量が増加すると考えられ、その増加分は導入前と比してプラス 10%とした。これに伴い飼料給与量も変化するが、導入前の購入飼料費については、NRC 乳牛飼養標準を用いて算出した。減価償却費については搾乳ロボットに加え、餌寄せロボット、バーンスクレーパーを必要な付帯施設として試算に入れた。フリーストール牛舎等施設に関しては、頭数や経営者の意向によって費用が大きく変化するため既存の牛舎を利用したものと仮定して、試算には加えなかった。

試算に用いる数値については、できるだけ A 牧場の実際の数値を用いるようにしたが、導入時期からやや年数がたっていることを踏まえ、最近年の数値を反映させるために、2016 年に搾乳ロボットを導入した農家のデータを用いた(表 5)。同時に、畜産クラスター事業を利用することで半額補助となる施設もあるため、これを利用した場合の試算も行った(注3)。

表5 畜産クラスター事業を利用した搾乳ロボットの導入費用

機械・施設・資材	導入費用	耐用年数	年償却費	導入規模
搾乳ロボット	23,750	7	3,393	2台
バルクタンク	5,500	7	786	5t×2基
餌寄せロボット	1,200	7	171	1台
牛舎・処理室・事務室	76,680	20	3,834	155頭規模
牛床マット	4,600	10	460	155床
通路マット	9,300	10	930	一式
バーンスクレーパー	6,000	5	1,200	2基
計	127,030		10,774	
(単位)	千円	年	千円/年	

資料)聞き取り調査より。

注1)表のうち、事業の対象となるのは、搾乳ロボット、バルクタンク、餌寄せロボット、である。

注2)導入費用は、事業補助を受けた実費用である。

搾乳ロボット導入によって、表 3 に示したように自家労働時間が大幅に減少するものと考えられるが、これにより雇用労働力や外部組織に依存していた作業を自家労働で対応するとしたため、労働費が比例的に減少しているわけではない。また、搾乳ロボット保守のための年間メンテナンス費はメーカー代理店の聞き取り調査から1台当たり年間135万円とした。支払利子については取得価額の2%とした。このほかの数値は2014年の農林水産省「畜産物生産費統計」の北海道地域における100頭以上規模の搾乳牛換算1頭当たり牛乳生産費をもちいた。

試算の結果を表 6 に示した。畜産クラスター事業を利用しない場合は、搾乳ロボット導入による乳量増加により粗収益は増加するものの、それ以上に減価償却をはじめとした費用が増加する。両者の額はほぼ等しく、総計では若干の所得の減少となった。この結果について補足すると、搾乳ロボットの導入によって搾乳に関わる作業が大幅に削減され、その時間を活用し、外部に委託していた作業を自家労働で行うようになったのである。このような作業の外部委託等の変化がなく、単に搾乳ロボット等の減価償却費が増加しただけであれば、年間の酪農所得はおよそ283万円の減少になる。しかし外部に支払っていた賃料等を削減することが可能になったため、所得の低下は軽微におさえられたのである。

畜産クラスター事業を利用して施設等を導入した場合には、主として減価償却費が大きく圧縮されることにより、所得は増加する結果となった。事業を活用することが可能であれば、酪農所得を重視する酪農家であっても搾乳ロボットを導入することが有利であるといえる。

表6 搾乳ロボット導入前後における所得の変化

	導入前	導入後	
		畜産クラスター利用せず	畜産クラスター利用
粗収益	109,815	120,679	120,679
うち生乳	97,783	108,648	108,648
物財費	70,112	82,855	79,325
うち飼料費	39,367	42,541	42,541
うち流通飼料費	28,780	31,954	31,954
うち賃借料及び料金	1,841	4,541	4,541
うち農機具費	3,317	10,186	6,656
うち償却費	1,509	8,377	5,039
労働費	11,307	4,043	4,043
うち支払労賃	2,002	0	0
費用合計	81,419	86,899	83,368
支払利子	896	1,853	1,385
所得	35,638	34,734	38,732

資料)A牧場乳検データ及び、「畜産物生産費統計」(2014年)より。
単位)千円

搾乳ロボットは高価な搾乳設備であり減価償却費が高額であるが、搾乳労働をはじめとして作業体系が大きく変化する。われわれの試算は、これにより、それまで外部に委託していた作用を内部化し、支出を抑え、増加する減価償却費と費用をある程度相殺し、所得の減少を軽微に抑えることが可能であることをしめしている。これは若干の所得の減少を受け入れれば、畜産クラスター等の補助を得なくとも融資等で導入可能であるということである。つまり補助を得なくとも、搾乳ロボットの導入は実現するのではないかと考えられるのである。

3. 搾乳ロボットに付帯する情報の活用について

搾乳ロボットの導入によって、一日あたり作業時間が減少し、同時に朝夕の搾乳作業の拘束からも解放される。発生した労働時間の余裕をいかに使うかが、搾乳ロボットを導入した酪農経営の経営成果を大きく左右する要因であると考えられる。新たな作業のひとつが、上に示したように外部化していた作業を内部化し支出を低下させることである。このほかに考えられる活用策としては、搾乳ロボットに付帯するシステムから得られるデータを分析して、さまざまな経営改善を図ることである。

近年の搾乳ロボットではセンサー技術との組み合わせにより、乳牛の行動や健康状態に関するデータが得られるようになった。これを用いて疾病対応や繁殖管理などを適切に行うことで、疾病による損失を抑えつつ、生乳生産・個体販売の成績を向上させることが期待される。ここでは A 牧場における飼養管理情報の活用と収益性の改善について検討する。A 牧場では 2011 年に搾乳ロボットシステムを現在の機種に更新し、各種センサーによる情報を利用できるようになった。

先に表 4 でも一部を確認したとおり、同牧場では、空胎日数、分娩間隔、初回受胎率、平均授精回数等でみるかぎり、繁殖成績に大きな改善は見られていない。しかし除籍率は十勝平均や B 牧場と比較すると低い水準にある。これは、高産次牛であっても受胎を成功させ、分娩と生乳生産を継続することで、生産した個体をより多く販売できることを意味している。

この事を示しているのが **図 3** である。

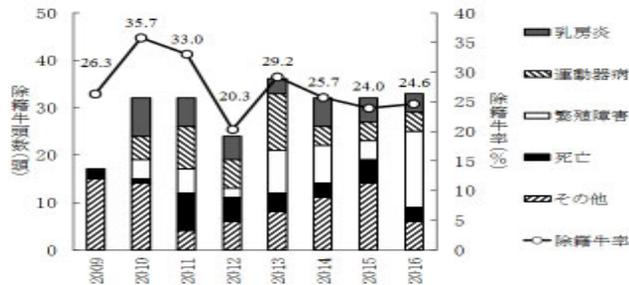


図3 A牧場における除籍牛の推移(経産牛)

資料:A牧場乳検資料より

A 牧場では、搾乳ロボットを更新した 2011 年以降に除籍牛率が低下していることがわかる。その理由として A 牧場では、以前までであれば淘汰対象となっていた乳牛でも、搾乳ロボットから得られる発情情報を活用し、適切な人工授精により除籍牛を減らしているのである。しかしそれは表 4 で示したように、単に受胎するまで何度も人工受精を試みるのではなく、少ない回数で確実に受胎させているのである(注 4)。

北海道酪農検定検査協会による 2016 年度「年間検定成績」によると、経産牛の除籍理由で最も高い割合を占めるのは「死亡」をのぞくと「繁殖障害」である。繁殖障害はいわば「結果」であり、乳牛に関わるさまざまな原因で受胎ができず、結果として「繁殖障害」であるとして除籍されてしまう。このとき、除籍される乳牛の人工授精回数はその経営の平均人工授精回数には算入されない。また受胎しにくい乳牛の除籍は空胎日数や平均分娩間隔の数値にも影響を与えるため、これらの数値については除籍率と合わせて判断することが重要であるといえる。何度も人工授精を試みても受胎せず、その結果「繁殖障害」として淘汰される場合、その数値はその酪農家の平均受精回数、平均分娩間隔には反映されない。極端な例をあげると、半数は人工授精回数が 2 回で受胎するが、残りの半数は 5 回でも受胎せずに淘汰する場合、平均人工授精回数は 2 回であるが、除籍牛率は 50% ということになる。これら数値を総合的に判断することが重要であることがわかる。

除籍牛率の改善は、牛群の更新に必要な後継牛頭数を減少させ、売却可能頭数の増加につながる。A 牧場では乳牛の首輪に内蔵されているセンサー等のデータに基づいて乳牛の繁殖時期を的確に把握し、人工授精を行っている。乳牛の発情期間はそれほど長くはなく、場合によっては人工授精師の到着・作業が発情に間に合わず、受胎が的確に行われれないということもあるようである。A 牧場の場合は経営主自ら人工授精を行っているためデータを活用した受精作業を的確に行うことができるのである。その結果が繁殖成績の改善、除籍牛率の低下に結びついているといえる。

その評価であるが、A 牧場では経産牛を 134 頭飼養しているが、図 3 のように除籍率が約 10 ポイント低下した場合、売却可能頭数は 14.9 頭増加する。ホクレン家畜市場集計表によると 2015 年度における初妊牛の平均価格は約 63 万円であり、子牛 1 頭あたりの生産費の約 38 万円(平成 27 年畜産物生産費統計による)を差し引くと、子牛一頭当たりの所得は約 25 万円となる。よって、A 牧場の例では約 380 万円の所得増加につながるかと推計される。これにより搾乳ロボット導入による約 100 万円の所得の減少を差し引いても、合計で約 280 万円の所得の増加となる。

A 牧場の事例は、搾乳ロボットに付帯する情報を分析するという追加的な労働によって、所得の減少を回避することができる可能性を示すものであるといえる。しかしこれは除籍率を低下させるという、飼養管理の改善によってもたらされるものであり、データ分析以前にすでに十分な飼養管理水準にある酪農家にとっては、所得の改善は限定的にならざるを得ないであろう。

注3) 畜産クラスター事業は、地域ぐるみで行われる事業ではあるが、畜産クラスター計画に位置づけられた中心的な経営体であれば個人でも補助を受けることが可能である。

注4) 図3では、2016 年に繁殖障害が増加し除籍牛率がやや増加している。これについては、高産次牛が増加し、乳牛を更新する必要があったため、繁殖障害として淘汰した結果である。

V 搾乳ロボットのログデータ解析による個体改良の方向

ここでは、搾乳ロボットに付帯するソフトウェアからのデータを活用した牛群改良の可能性について検討したい。メーカーによって得られるデータには差があるが、基本的に乳牛個体のさまざまな行動、乳質、その他に関するデータが詳細に得られ、これを用いて疾病対応(早期発見早期治療)、繁殖管理(適期の人工授精)などによって、損失を抑え、個体販売を増加させるなどの取り組みが可能である。

ここではこのほか、個体の淘汰による牛群改良の可能性について考察したい。搾乳ロボットは 1 日に搾乳できる回数が限られているため、搾乳ロボットあたり搾乳量を増加させるためには、できるだけ効率的な利用が求められる。利用効率を下げる要因はさまざま考えられる。

ひとつは搾乳ロボットによるリフューズである。これはフリーアクセス方式のシステムに固有の動作であるが、1 回の搾乳で効率的に搾乳するためには、一定量の生乳を搾乳する必要がある。乳牛の乳房内に一定の乳汁が蓄積されるためには時間を要するため、一度搾

乳した乳牛は十分な時間を経過しなければ搾乳されない。このため搾乳時間に到達していない乳牛が搾乳ロボット内に侵入した場合は、搾乳されずにすぐ出口のゲートが開かれ、乳牛は退出するよう促される(リフューズされる)のである。

しかし乳牛にすればロボット内で配合飼料が給与されることを知っているので、配合飼料を得るために頻繁に搾乳ロボットに侵入しようとする乳牛は存在する。そのような牛が搾乳ロボット内に入ってこれを占有していれば、本来搾乳されるべき乳牛がロボットに侵入できず搾乳されない。これによってロボットの稼働の効率性が低下すると考えられるのである。

つぎに、泌乳速度(milking speed)とは、乳汁が搾乳される際の流出速度である。流出速度が遅ければ同じ搾乳量でも搾乳時間は長く、搾乳ロボットの利用効率は低下する。この点からできるだけ泌乳速度の高い個体が望ましいことになる。無論あまりに早い場合は乳頭口が損傷することも考えられる。

図4は、A牧場において、搾乳ロボット1台で1時間に発生しているリフューズ回数と1時間の搾乳量の分布を示したものである。図からわかるように、分析期間において1時間で最も搾乳量が高かったときは、約140kgの生乳が得られているが、このときは乳牛のリフューズが発生していなかった。逆に、最もリフューズが多かったときは1時間で40回発生していたが、このときの搾乳量は25kg程度であった。

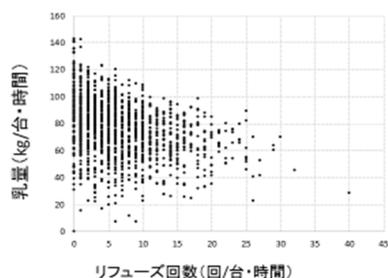


図4 ロボットあたりの時間リフューズ回数と乳量の関係

資料)A牧場資料より。

分布はおおよそ三角形の形をしている。1時間あたりの最高搾乳量はリフューズ回数が増加するとともに顕著に低下している。逆に最低搾乳量は、乳牛の活動状態にも依存すると考えられるためばらつきが大きく、リフューズとはあまり関係がない。リフューズが多ければ搾乳ロボットの効率性が低下することがわかる。リフューズが多い牛は、一定時間がたたないと搾乳されず、配合飼料が得られないということを学習しない個体であると考えられる。そのためこのような個体を淘汰し、新に乳牛を導入することで、平均のリフューズ回数は減少すると考えられる。

また泌乳速度についても、これが遅い乳牛を淘汰し新たな個体を導入することで、平均の泌乳速度が上昇し、搾乳ロボットの効率が向上すると考えられる。このような牛群の改良によって搾乳ロボットの利用効率が向上すると考えられるのである。

以上のような牛群改良を行った場合の推定結果を表 7 に示した。4 つの牛群改良のケースが示されている。乳牛の淘汰は全体のおよそ 10%を入れ替えるとして各ケースとも 11 頭を淘汰し、新に同数の乳牛を導入することとした。データに基づき淘汰するため、淘汰される乳牛の能力・特質はさまざまであるが、新に導入される乳牛の能力・特質は平均的であるとした。

表7 A牧場における乳牛入れ替え後の乳量の変化

		ケース① リフューズ上位	ケース② リフューズ上位かつ 日乳量平均以下	ケース③ 泌乳スピード下位	ケース④ 泌乳スピード下位かつ 日乳量平均以下
余裕時間の増加 (分/日)	(A)	10.9	7.1	80.3	16.8
搾乳回数の増加 (回/日)	(B)	1.6	1.1	12.4	2.6
余裕時間の増加による 乳量の増加 (kg/日)	(C)	17.3	11.4	129.9	26.8
乳牛入替のみによる 乳量の増加 (kg/日)	(D)	0.6	77.2	3.4	51.9
乳量の増加合計(C+D) (kg/日)	(E)	17.9	88.6	133.3	78.7
乳牛入替後の1日あたり 総乳量 (kg/日)	(F)	3,759.9	3,830.6	3,875.2	3,820.7

資料) A牧場資料をもとに計算した。

注: 1) 「余裕時間の増加(A)」は、ケース①、②の場合「現状のリフューズ回数」-「乳牛入替後のリフューズ回数」で、減少したリフューズ回数を求め、リフューズ1回でロボットを10秒間占有すると仮定してもとめた。③、④の場合「現状の搾乳時間」-「淘汰・導入後の搾乳時間」で時間をもとめた。
2) 「搾乳回数の増加(B)」は、「余裕時間の増加」+「(リフューズ時間2分)×(各ケースの1回搾乳あたりの搾乳時間)」でとめた。
3) 「余裕時間の増加による乳量の増加(C)」は、「搾乳回数の増加」×「各ケースの1回搾乳あたりの乳量」でとめた。
4) 「乳牛の入替のみによる乳量の増加(D)」は入れ替わった乳牛個体の産乳能力の変化による乳量の増加分を、搾乳回数率の変化は考慮していない。

このうちケース①は、リフューズ回数が上位の個体を淘汰するというものであり、ケース②はリフューズが上位でかつ日乳量が平均以下の個体を淘汰するというものである。一方ケース③、ケース④は泌乳スピードに関するものであり、ケース③は泌乳スピードが下位の個体を淘汰する、ケース④は泌乳スピードが下位でかつ日乳量が下位の個体を淘汰するというものである。ここで試算するにあたり、ケース①やケース③だけではなく、ケース②と④をもうけたのは、条件により淘汰対象となった個体の乳量が高ければ、酪農家は淘汰を躊躇すると考えられるからである。

牛群改良、搾乳の効率化と乳量の変化の試算プロセスを表側の A から F に示した。このうち A は、各ケースで想定した乳牛の入れ替えによって、牛群の能力・特性が変化するわけであるが、入れ替えたことによって新たに搾乳可能な余裕時間がどれほど発生したのかを示し、B は、その時間を使って新たに何回の搾乳が可能になるのか、C はその新たな搾乳によって、どれだけ乳量が増加するのかを示している。さらに、特にケース②や④では、そもそも乳牛の入れ替えによって、淘汰され乳牛と導入される乳牛で個体差があると考えられるので、入れ替え効果のみで増加する乳量を D に示し、C と D の合計値を E に示し

た。

試算結果について検討する。淘汰に乳量を考慮しない場合は、C(増加余裕時間による乳量増加)のほうが、D(乳牛入れ替えのみによる増加乳量)を上回っている。逆に言えば、淘汰の条件として乳量を考慮するならば、乳牛の入れ替えによる能力改善の効果のほうが大きくなるということである。

しかしここで注目すべきは、リフューズについて比較したケース①と②、泌乳スピードについて比較したケース③とケース④のそれぞれの比較である。前者の場合はケース②の乳牛入れ替えによる増加乳量(77.2kg/日)のほうが、ケース①の余裕時間による効果(17.3kg/日)より大きいものに対して、後者の場合は、ケース③の余裕時間による効果(129.9kg/日)のほうが、ケース④の入れ替えによる増加乳量(51.9kg/日)よりも大きいのである。これはリフューズによる乳牛の更新を考えるよりも、泌乳成績を重視するのが望ましいこと、しかし泌乳成績よりも、泌乳スピードを重視することが、より望ましく、乳量増加により貢献することを示している。

表7のE欄に示したとおり、各ケースの増加乳量は、現状の一日あたり乳量(3,742.0kg/日)よりも、それぞれケース①で17.9kg/日、②で88.6kg/日、③で133.2kg/日、④で78.7kg/日の増加となる。これは金額であらわすならば、乳価を87.1円/kg(農林水産省生産局[2017])とすると、それぞれ①1,560円/日、②7,720円/日、③11,606円/日、④6,857円/日となる。

表7 A牧場における乳牛入れ替え後の乳量の変化

	ケース① リフューズ上位	ケース② リフューズ上位かつ 日乳量平均以下	ケース③ 泌乳スピード下位	ケース④ 泌乳スピード下位かつ 日乳量平均以下
余裕時間の増加 (分/日)	(A) 10.9	7.1	80.3	16.8
搾乳回数の増加 (回/日)	(B) 1.6	1.1	12.4	2.6
余裕時間の増加による 乳量の増加(kg/日)	(C) 17.3	11.4	129.9	26.8
乳牛入れ替えのみによる 乳量の増加(kg/日)	(D) 0.6	77.2	3.4	51.9
乳量の増加合計(C+D) (kg/日)	(E) 17.9	88.6	133.3	78.7
乳牛入れ替えの1日あたり 総乳量(kg/日)	(F) 3,759.9	3,830.6	3,875.2	3,820.7

資料) A牧場資料をもとに計算した。

- 注: 1) 「余裕時間の増加(A)」は、ケース(D)、②の場合「(現状のリフューズ回数)-(乳牛入れ替え後のリフューズ回数)」で、減少したリフューズ回数を求め、リフューズ1回でロボットを10秒間占有すると仮定してもとめた。③、④の場合「(現状の搾乳時間)-(淘汰・導入後の搾乳時間)」で時間をとめた。
 2) 「搾乳回数の増加(B)」は、「余裕時間の増加÷(ロボット時間2分)+(各ケースの1回搾乳あたりの搾乳時間)」でもとめた。
 3) 「余裕時間の増加による乳量の増加(C)」は、「(搾乳回数の増加)×(各ケースの1回搾乳あたりの乳量)」でもとめた。
 4) 「乳牛の入れ替えのみによる乳量の増加(D)」は入れ替わった乳牛個体の産乳能力の変化による乳量の増加分を、搾乳回数等の変化は考慮していない。

以上示したとおり、牛群改良については、リフューズ回数よりも泌乳スピードを重視すべきであるという結果になった。この結果については、リフューズによって搾乳ロボットが占有される時間を10秒としたことも影響していると考えられる。一方、泌乳スピードを過度に重

視することは、乳牛の乳頭管を広げ殺菌の侵入を容易にするリスクを伴うであろう。したがって、ロボットから得られる個体データを総合的に判断する必要がある。

搾乳ロボット適応牛群にするために個体を淘汰していくにあたって、淘汰牛の産次数も考慮する必要がある。本稿で「③泌乳スピード下位」と「④泌乳スピード下位かつ日乳量平均以下」の試算において淘汰されるとした個体は、実際に A 牧場の経営者が淘汰した乳牛と大きく異なることはなかった。しかし「①リフューズ上位」および「②リフューズ上位かつ日乳量平均以下」で淘汰対象となった乳牛は、平均産次数が 2.1 産と若干若い個体であった。

この試算では、搾乳ロボットによって得られるデータの活用方法の一例を示したものである。分析期間が 1 ヶ月と限定的であるため分析結果は限定的なものである。本来的には生涯乳量にかかわる遺伝的な能力の評価など、より包括的な情報によって乳牛の淘汰を判断すべきである。

VI 結論と今後の展望

先に図 2 で示した作業仮説をもとに分析結果について整理すると以下のようになる。

搾乳ロボットシステムは、搾乳作業をはじめとして酪農への投下労働を削減することが可能であるが、同時に減価償却費の大幅な増加などによって所得の減少も伴う技術であるといえる。相対的に所得に対する選好が強い農家よりも、労働削減に対する選好が強い酪農家で導入される可能性が高い。

ただし、搾乳作業がほぼなくなり、大幅に軽減された労働時間を、他の作業に割り振ることで費用、所得が変化する可能性はある。例えば事例農家のように、外部委託していた牧草収穫作業を内部化することで支出を減らすことである。また搾乳ロボットに付帯する管理ソフトウェアから得られるデータを分析することで繁殖成績を改善させ、個体販売を増やし、収入の拡大を図る、などである。そうすることで所得の減少はかなりの程度カバーされることが示された。またこの試算の結果は、現在広く利用されている畜産クラスターの補助が得られなくとも搾乳ロボットが納入される可能性を示すものであった。

山本[7]の試算では、一定の補助金を得て投資するのが望ましく、その場合でも、ETなどによって個体販売に注力することが大事であるとしている。山本の分析事例では、立地の関係から THI など、暑熱対策が必要であるため、投資が本研究の事例経営よりもさらに高額になっていることがこのような判断の要因となっていることが考えられる。搾乳ロボットシステムに移行する場合は、投資の内容を精査することが重要であることを示しているといえる。

近年の酪農経営においては、規模拡大とともに労働力不足が顕著になっており、今後、

労働時間の削減に対する期待がますます強くなっていくと考えられる。この点において搾乳ロボットシステムは有用な技術であり、今後も導入が進んでいくと考えられる。

労働時間の削減に関して、搾乳ロボットシステムのメリットを十分に引き出すためには、搾乳ロボットだけの搾乳システムへの移行が望ましい。しかしそのためには複数台導入が前提となるため投資額が増加することと、不適合牛への対応が課題となる。しかし本研究で紹介した A 牧場の事例では、付帯するシステムからのデータを適切に活用することで個体販売を増加させ、増加する減価償却費等を十分まかなえること、また、搾乳ロボットだけの搾乳システムにより雇用労働が不要となり、支払賃金の削減が可能となること、以上により、所得の確保は相当程度可能であることが明らかになった。搾乳ロボットを導入する際には、そのメリットを十分に引き出すような利用方法が重要であろう。

無論、搾乳ロボットに適応できない乳牛は一定存在するであろう。しかしセンサー技術の向上によって、搾乳機を乳頭に装着する際の成功率はかつてよりは改善している。山本 [7] の分析対象経営では約 100 頭が新たに搾乳ロボットシステムに馴致するまでに要した期間は 3 日間であった。

乳牛が搾乳ロボットシステムになれることも含めて、泌乳スピードやリフューズなど、搾乳ロボットシステムに適合的な素質を持った乳牛で牛群を構成することが望ましいことはいくまでもない。現在、欧米では種雄牛選択の指標として、搾乳ロボットへの適応性も参照することができるようになってきている。今後はこのような検討も必要になるであろう。

分析では、搾乳ロボットに付帯するシステムからのデータを用いた経営改善（繁殖改善、疾病対策）の可能性が示唆された。多くのメーカーではこれらデータをインターネット上のクラウドシステムに蓄積させ、様々な活用を試みている。一部では特定の獣医師にデータへのアクセスを認め、リモートで乳牛の健康状態、発情状態等を管理し、早期発見早期治療や、繁殖管理に活用している。データの有効活用の例といえる。これについては、乳牛個体に関するデータが多いほどより適切な対策が期待される。よって、本来的には搾乳ロボットからのデータだけではなく、家畜共済の治療データ、乳件のデータ等、様々なデータが統合され有効に活用されることが望まれる。

酪農頭数規模拡大に伴い、大規模パーラーを導入するのか、搾乳ロボットを複数台導入するのかの選択において、賃金水準が影響しているという指摘がある。安価な雇用労働力を確保できるのであればパーラー導入が選択されるが、賃金水準が高ければ搾乳ロボットシステムが選択されるというものである。本研究の結果もその指摘の妥当性を示唆するものであるが、詳細な検討は今後の課題としたい。

引用参考文献

[1] 原仁「北海道における搾乳ロボットの導入実態と経営評価」『農業機械学会誌』第

68 卷第 I 号、2006

- [2]小池美登里「ロボット導入効果を最大とする給餌方法論」『北海道家畜管理研究会報』、第 45 号、2010、pp.18-22
- [6]野附巖「最近の研究課題－ 搾乳ロボットについて」、
<<http://lin.alic.go.jp/alic/month/dome/2002/jan/chousa-1.htm>> 2017年2月28日アクセス.
- [4]千田雅之「ロボット・IT 活用による省力化と個体管理を実現できる酪農モデル」『中央農業総合研究センター研究資料』第 11 号、2015、pp.34-43.
- [5]高橋圭二・森田茂・平山秀介・時田正彦『牛・人にやさしい搾乳ロボットの活用』酪農総合研究所、2001
- [7]山田輝也・岡田直樹「搾乳ロボットを導入した酪農経営モデル」『北海道農業研究成果情報』、2011
- [11]山本直之「酪農経営における搾乳ロボット並びに関連施設導入の費用対効果分析」農業経営研究第 54 卷第 4 号(通巻 171 号)、pp.114-119