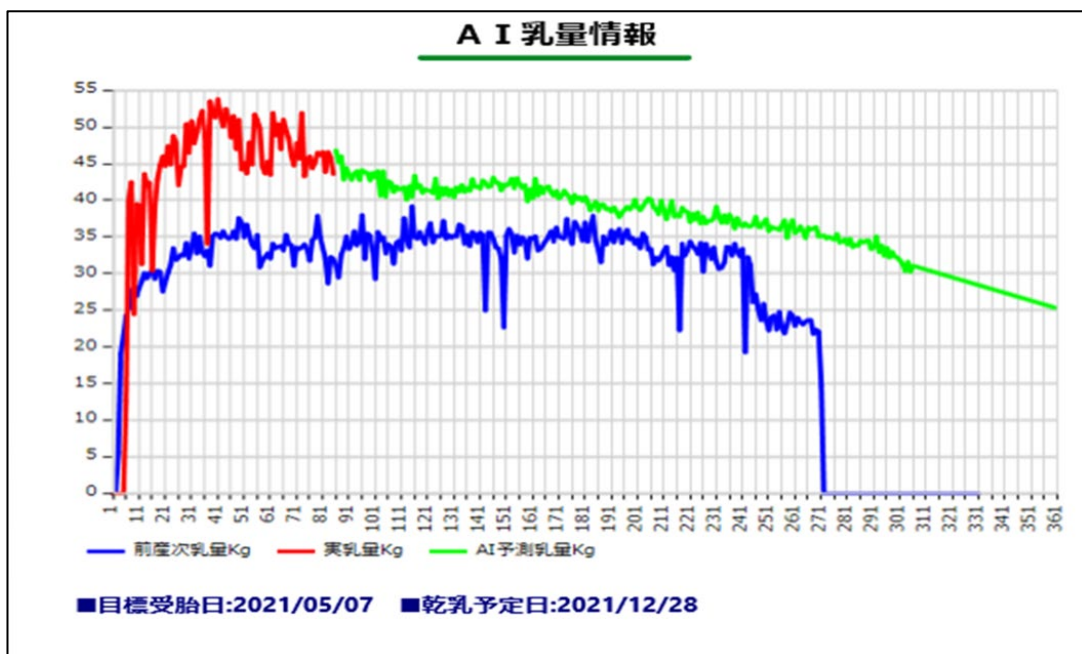


個体別乳量予測システム 開発マニュアル

(システム開発者向け 版)



生研支援センター革新的技術開発・緊急展開事業

(うち人工知能未来農業創造プロジェクト)

※ 当マニュアルの作成は、「農林水産省スマート農業実証プロジェクト(スマート農業産地形成実証)(課題番号:畜4A、課題名:データ駆動型スマート自給飼料生産・飼養管理システムによる持続可能な酪農産地形成の実証)」(事業主体:農研機構)の支援により実施されました。

本マニュアルについて

本マニュアルは、酪農現場に実装するシステム開発を行う技術者および研究者を対象に、酪農家の日乳量データを活用した乳量予測技術およびその応用技術の開発手法を紹介することを目的として作成されました。

【背景】

乳牛の泌乳能力やピーク乳量を長く維持する能力（泌乳持続性）は個体によって異なりますが、それによって生涯生産性の向上に最適な分娩間隔や乾乳期間は異なることが分かってきました。個体ごとの最適な分娩間隔による飼養管理を生産現場で実現するため、AI（泌乳平準化）コンソーシアムでは、生研支援センター革新的技術開発・緊急展開事業（うち人工知能未来農業創造プロジェクト）の支援を受け、機械学習による分娩後早期の個体別乳量予測技術を開発し、それを応用した目標受胎日を提示するシステムの作成、および疾病予兆検知精度の検証等を行いました。さらに、十勝サイバーフィジカル酪農コンソーシアムでは、農林水産省スマート農業実証プロジェクト（スマート農業産地形成実証）の支援を受け、当技術の生産現場への実装における留意点等について検証しました。

【趣旨】

個体別乳量予測技術および疾病予兆検知については、一定の精度で利用可能であることが確認できましたが、精度を維持するための留意事項や運用上の課題等が未解決であるため、社会実装・普及には至っていません。しかし、上記一連の技術開発に係るパラメータ、手法、およびその精度については、今後同様の技術開発を検討するうえで有用な情報です。そこで、これら個体別乳量予測技術の内容、予測精度、応用技術の検証結果、実装における留意点および課題を取りまとめ、本マニュアルで紹介することとしました。

【お読みいただきたい方】

○ 酪農現場のシステム開発に携わる方：

当システムが実装できれば、酪農家の収益を向上させるための授精適期や早期治療の判断を省力的に実施することができます。当マニュアルで扱った手法、および現状の課題などご確認いただき、システム開発についてご検討いただければ幸いです。

○ 乳業メーカー、あるいは農協等で乳牛の個体管理技術の導入を検討される方：

技術開発の背景となる、「2.【利用法 A】乳牛の個性（産次、乳量と泌乳持続性）に合わせた最適な分娩間隔と最適な乾乳期間の提示」については、個体ごとに最適な管理を検討するうえで参考になります。システム開発企業等と開発についてご相談いただければ幸いです。

個体別乳量予測システム開発マニュアル（システム開発者向け 版）目次

1. 機械学習による個体別乳量予測技術とそのシステム構築方法
 - 1-1. 個体別乳量予測モデルの概要
 - 1-2. 乳量予測モデルの精度
 - 1-3. 予測モデルにおける留意事項
 - 1-4. 個体別乳量予測システム構築要件
 - 1-5. システムとして運用するための課題
2. 【利用法 A】乳牛の個性（産次、乳量と泌乳持続性）に合わせた最適な分娩間隔と最適な乾乳期間の提示
 - 2-1. 乳牛の個性（乳量と泌乳持続性）によって異なる生涯生産性に最適な分娩間隔と最適な乾乳期間
 - 2-2. 酪農家での乳牛の個性（乳量と泌乳持続性）の個体ごと・産次ごとの早期予測
 - 2-3. 算出された個性から、最適な目標受胎日を提示
 - 2-4. 留意点
3. 【利用法 B】乳牛の疾病予兆検知
 - 3-1. 健康な乳期と疾病記録のある乳期
 - 3-2. 機械学習による日乳量予測からの乖離と疾病検知
 - 3-3. 疾病予兆検知の正答率と誤検出の関係
 - 3-4. システム実装

1. 機械学習による個体別乳量予測技術とそのシステム構築方法

1-1. 個体別乳量予測モデルの概要

本マニュアルで紹介する個体別乳量予測モデルは、個体ごとにおける直近 10 日間の毎日の泌乳量（日乳量）を機械学習の説明変数（特徴量※¹）の基本として、翌日から分娩後 305 日までの日乳量を予測するモデルである。モデルの概要を図 1 に示す。日乳量以外の特徴量として、産次（初産次、2 産次、3 産次以上）、分娩月、両親の遺伝的能力（育種価^{コラム}）の平均値を用いる。

予測モデルは、分娩後 61 日目から 305 日目までの各日乳量を直近 10 日間の日乳量で予測する 245 個の予測式で構成される。すなわち、分娩後 51～60 日乳量から 61 日目乳量を予測する式、52～61 日から 62 日目を予測する式、・・・294～303 日から 304 日目を予測する式、295～304 日から 305 日目を予測する式である。予測モデルは、各牛群における過去の記録から python^{※²} の scikit-learn ライブラリ（Pedregosa ら 2011）を用いたランダムフォレスト^{※³}により構築した。ハイパーパラメータ^{※⁴}は、決定木^{※⁵}の数（n_estimators）を 500，決定木の最大の深さ（max_depth）を 6，その他のパラメータは scikit-learn のデフォルト値を用いた（伊藤ら 2022）。

実際の予測において、予測開始日の翌日以降の予測値を翌々日以降の予測に順次利用することにより、分娩後 305 日目乳量までの長期的な予測を行う。例えば、予測開始日が分娩後 60 日である場合、61 日目乳量の予測には 51～60 日目の日乳量実測値、62 日目の予測には 52～60 日目の実測値および 61 日目の予測値、71 日目の予測には 61～70 日目の予測値を特徴量とする。予測は毎日実施し、予測に用いる日乳量の実測値および予測値は毎日更新される。

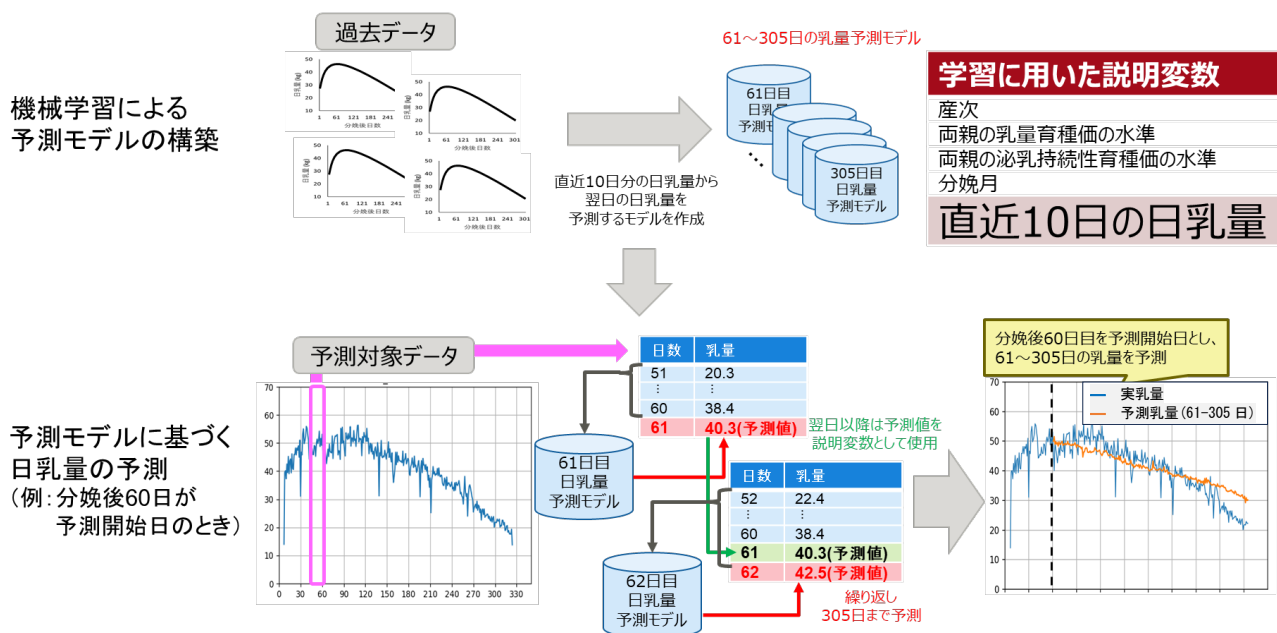


図 1 機械学習手法を用いた日乳量予測モデルの構築と予測手法

出典：伊藤ら（2022）図 1（一部改正）

コラム：育種価(Breeding Value)とは？

作物・家畜の品種改良では、親の資質が子に遺伝する現象を利用して、次世代の資質を向上させる「優れた親（種）」を現世代から選ぶ過程が重要であり、この過程を「育種」と呼ぶ。優れた親を選ぶための指標、すなわち、次世代に伝わる能力の高低を表す値が「育種価」である。当然、乳牛の乳生産能力の高低は両親の育種価だけでなく、生育・乳生産時の飼養環境の影響を大きく受けるが、当マニュアルのモデルでは、個体の潜在能力の一部を表す特徴量として両親の育種価の平均値を採用した。

用語解説

- ※¹ 特徴量：機械学習等で予測対象の特徴を表す数値・変数。適切な特徴量を用いてモデルを構築することが機械学習予測の精度向上に不可欠である。
- ※² python：プログラミング言語の1つ。比較的構文がわかり易く、専門的なライブラリが多いことが特徴。機械学習分野での活用例が多い。
- ※³ ランダムフォレスト：機械学習アルゴリズムの1つ。分類、回帰、クラスタリングに用いられる。複数の決定木（後述）の出力を組み合わせることで最適な予測モデルを構築する。
- ※⁴ ハイパーパラメータ：手動で設定する、予測モデルの構築における機械学習の条件。予測精度を最大にするハイパーパラメータの値はモデルによって異なるため、試行錯誤が必要。
- ※⁵ 決定木：複数の分岐条件によって予測値や分類を決定する手法。その過程（フローチャート）が樹形図になることから決定木（Decision tree）と呼ばれる。

1-2. 乳量予測モデルの精度

1-1 のモデルについて、北海道十勝地域のフリーストール※⁶飼養およびミルキングパーラー※⁷搾乳で管理されている A 牛群 489 頭および B 牛群 664 頭のホルスタイン種雌牛の毎日の乳量記録を用いて予測モデルの精度を検証した（伊藤ら 2022）。長期的な予測精度の検証として、分娩後 60 日時点で 61 日目～305 日目の日乳量を予測した場合の予測期間全体および予測開始後 30 日間隔の予測誤差を評価した。また、短期的な予測精度の検証として、予測開始日から 30 日間の予測誤差を分娩後 61 日目以降 30 日間隔で評価した。

分娩後 60 日時点の予測による分娩後 61 日から 305 日までの予測誤差の平均値は、A 牛群で 3.58 kg（平均日乳量の 10.2%）、B 牛群で 4.29 kg（同 11.3%）であった。産次が進むほど乳量が多くなるため、予測誤差は産次が進むに伴い大きくなった。また、予測日が予測開始日から離れるほど予測誤差は大きくなるが、その変化は牛群により異なった（図 2）。一方、分娩後 61 日から 305 日における予測開始日から 30 日間の予測誤差の平均値は、A 牛群で 2.26 kg（平均日乳量の 6.4%）、B 牛群で 2.61 kg（同 6.8%）と小さく、搾乳期間を通じて一貫していた（図 3）。

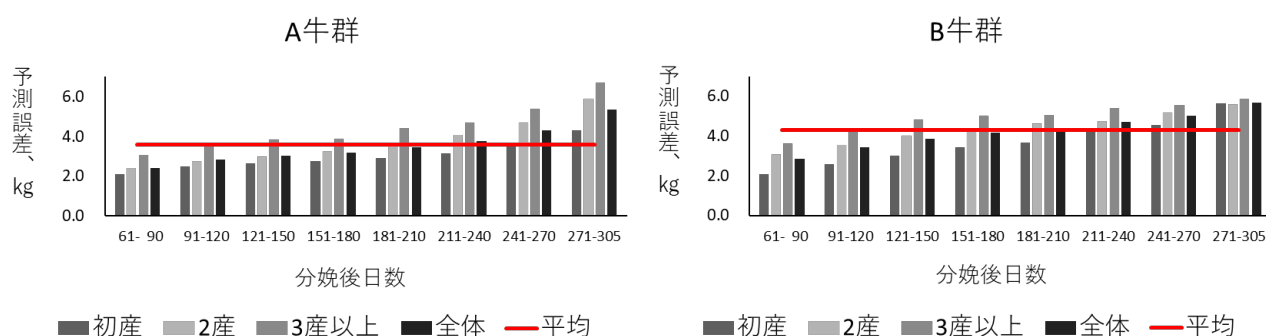


図2 分娩後60日時点の予測による61日から305日までの30日毎の日乳量予測誤差
(個体を10分割した交叉検証^{※8}による平均絶対誤差)

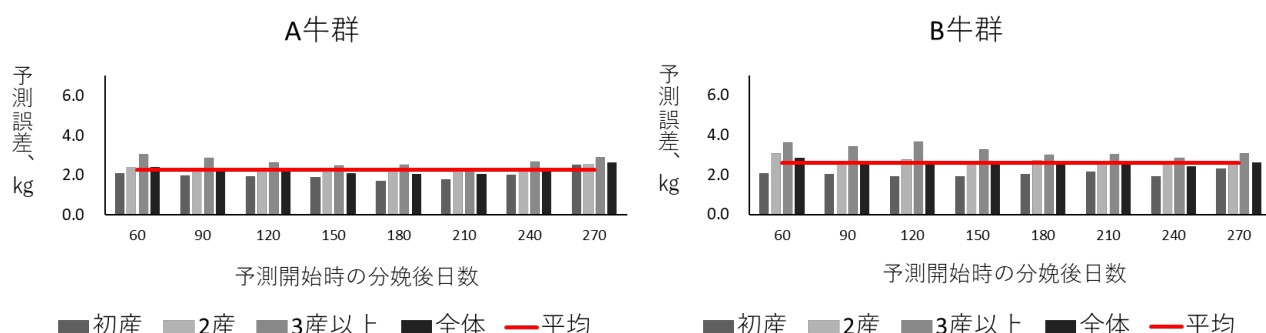


図3 予測開始日から30日間の日乳量予測誤差
(個体を10分割した交叉検証による平均絶対誤差)

用語解説

※6 フリーストール (牛舎)：自由に歩き回れるスペースを持った牛舎。どのストール (寝床) でも自由に休息できることからフリーストールと呼ばれる。一方、ストールにつないだまま飼養する牛舎をつなぎ飼い牛舎と呼ぶ。

※7 ミルキングパーラー：搾乳専用施設の1つ。牛は搾乳時間になると自らミルキングパーラーに入り、搾乳作業員による搾乳後、自ら退出する。一度に多頭数の搾乳が可能で、搾乳時に牛をつなぐ必要がないため、主にフリーストール牛舎で使用される。

※8 交叉検証 (交差検証)：全データの一部を削除した学習データで作成した予測モデルにより削除データを予測し、予測値と削除データとの差の評価を繰り返すことでモデルの予測誤差を評価する手法。図3では、全データを10分割し、1分割の削除による予測値と削除データとの差の評価を10回 (10分割分) 繰り返すことで誤差を評価している。

1-3. 予測モデルにおける留意事項

1-3-1. 予測モデルの定期的な更新

牛群の日乳量は、遺伝的に改良された後継牛の導入に伴う恒常的な変化、および飼養管理の変化に伴う不連続な変化の影響を受けることから、予測対象個体に対して学習データに用いた個体が古い場合、予測精度が低下しやすいことは十分考えられる。予測誤差について、個体を 10 分割した交叉検証ではなく、分娩が直近である 10% の個体の日乳量記録による検証、すなわち、過去の個体で作成した予測モデルで最新の個体の日乳量を予測した際の誤差を検証したところ、交叉検証による誤差よりもやや大きくなる傾向があった（伊藤ら 2022）。そのため、定期的に最新の個体で構築した学習データによる予測モデルの更新が必要となる。適切な学習データおよび予測モデルの更新時期については今後検討が必要である。

1-3-2. 長期予測における誤差の累積

本マニュアルで紹介する個体別乳量予測モデルは、予測時に特徴量として直近 10 日分の日乳量の「予測値」を含む。そのため、予測開始日から離れた日乳量の予測において、特徴量に用いる予測値が含む誤差の累積により予測精度が低下する。分娩後 60 日を予測開始日として分娩後 300 日目の日乳量を予測する際、予測に用いる特徴量を「直近 10 日分（分娩後 290～299 日目）の予測値」ではなく、「予測開始時（分娩後 51～60 日目）の実測値」を用いた場合、予測誤差は本マニュアルの予測モデルよりも小さくなった（伊藤ら 2022）。このことから、予測開始時の実測値を特徴量とした 305 日までの各日の日乳量に対する予測式を作成することにより、長期的な予測精度が向上すると考えられるが、そのためには 30,135 個の予測式（分娩後 61～305 日乳量を目的変数、51～60 日目の日乳量を特徴量とした予測モデル（予測式 245 個）、62～305 日乳量を目的変数、52～61 日目の日乳量を特徴量とした予測モデル（予測式 244 個）、…分娩後 305 日を目的変数、295～304 日目の日乳量を特徴量とした予測モデル（予測式 1 個））が必要となるため、計算コストが増加する。また、酪農現場の日乳量データには欠測値が多く、実際には特徴量に予測値を用いざるを得ないことが多いと想定される。特徴量に用いる日乳量に予測値を含むことが長期的な予測精度に与える影響については、より多くの学習データを用いた検討、および定期的なモデルの更新コストも含めた実際の運用における精度の検証が必要である。

1-4. 個体別乳量予測システム構築要件

1-4-1. 必要なデータの収集

a) 酪農家からの日乳量データの毎日の収集

検定団体や農業団体等のシステム上に構築した予測モデルの適用には、毎日の個体ごとの日乳量をインターネット経由で取り込む必要がある（図 4）。乳量計を持つ酪農家では、毎回の搾乳ごとの乳量を記録する搾乳機メーカーのシステムがパソコンに搭載されている。ここから毎日のデータを乳量予測システムにアップロードする。これを毎日定時に起動するバッチファイルを設定する。内容は、

- ① 毎日、定時に搾乳機メーカーのシステムから搾乳日、個体識別番号、乳量を、テキストファイル（csv 形式）として酪農家のパソコン上に出力させる。
- ② 出力されたファイルを、インターネット経由で乳量予測システムにアップロードする。

留意点として、乳量計データ記録システムは搾乳機メーカーごとに異なるため、①のデータの自動出力の可否がある。搾乳機メーカーのシステム仕様に依存するため、現時点でこれを適用できないケースも存在し、このことが本システムの適用の最大の関門となる。

b) それ以外の特徴量の収集

- ① 乳量予測システムでは、日乳量以外の特徴量として、産次（初産次、2 産次、3 産次以上）、分娩月が必要である。これらの個体情報は、牛群検定に参加している酪農家であれば電子データとして入手可能である。
- ② さらに両親の遺伝的能力（育種価）の平均値を用いているが、現時点では本システムの開発を担当した北海道酪農検定検査協会等、育種価を管理する機関の協力がなければ入手できない。とはいえ乳量予測への寄与率はあまり高くないため、両親の育種価を用いない（固定値に設定する）としても大きな問題はない。

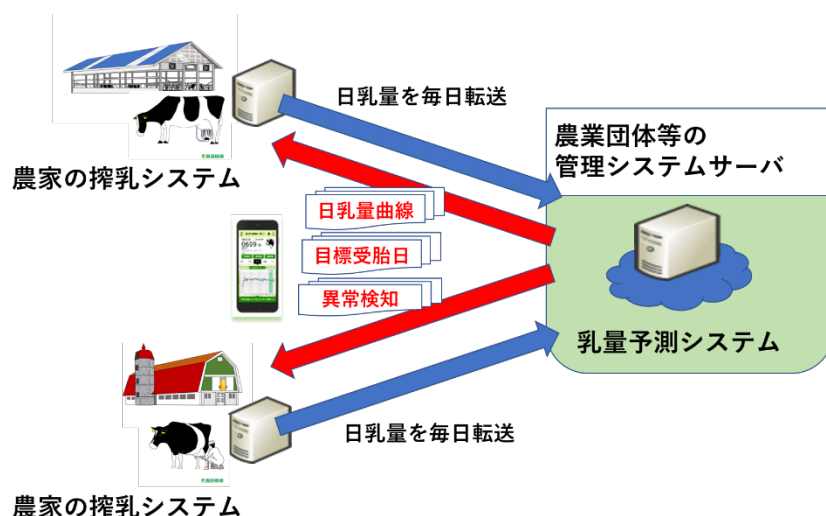


図 4 各農家の搾乳システムと乳量予測システムとの関係

1-4-2. 乳量予測システムに必要なシステム要件

参考として、上記システムを試行したサーバーのスペックを以下に示す。

OS : Windows Server 2016

プロセッサ : Intel(R)Xeon(R)Silver4215CPU@2.5GHz

CORE 数 : 4

メモリ : 8 GB

DISK:100GB+60GB

費用 : データベース構築等も含めて 100 万以上 (概算値 : メーカーによる)

1-5. システムとして運用するための課題

本マニュアルで紹介した個体別乳量予測システム (以下、予測システム) を維持・運用するためには、この予測システムだけでなく、牛群検定等で収集する個体の分娩記録等を管理するシステムを農業団体等の管理システムサーバに導入する必要がある。また、予測精度を維持するため、予測システムを新規に利用する農家の予測モデル構築費用、既に利用している農家の予測モデルの定期的な更新費用が必要となる。しかし、現在、システムの運用における最大の課題は、農家ごとの日乳量の転送状況を確認する人的負担である。予測システムの運用には、農家から日乳量が毎日自動転送されることが必須だが、様々な農家側の事情 (通信障害や PC・搾乳ソフト更新等) により転送でなくなる。このモニタリング・農家への照会・対応に係る人的負担が大きすぎるため、現状では予測システムの継続が困難である。予測システムの運用には、日乳量の転送が不可となった際に、その状況・原因・対応策を農家および管理者へアラートし、できる限り簡便に修復できるシステムが必要である。

参考文献

伊藤優介, 田鎖直澄, 太田雄大, 大井裕樹, 山口諭, 山崎武志. 2022. 毎日の日乳量記録に基づく機械学習手法を用いた分娩後早期泌乳曲線予測精度の検討. 日本畜産学会報 93, 347-355.

Pedregosa F, Varoquaux G, Gramfort A, Michel V, Thirion B, Grisel O, Blondel M, Prettenhofer P, Weiss R, Dubourg V, Vanderplas J, Passos A, Cournapeau D, Brucher M, Perrot M, Duchesnay É. 2011. Scikit-learn: Machine Learning in Python. Journal of Machine Learning Research 12, 2825-2830.

2.【利用法 A】乳牛の個性(産次、乳量と泌乳持続性)に合わせた最適な分娩間隔と最適な乾乳期間の提示

2-1. 乳牛の個性(乳量と泌乳持続性)によって異なる生涯生産性に最適な分娩間隔と最適な乾乳期間

乳牛の1日当たりの泌乳量(日乳量)は分娩後1~2か月でピークに達し、その後緩やかに減少するため、乳牛は泌乳中に受胎し、適切な間隔で分娩を繰り返すことにより生涯の平均日乳量を高く維持することが求められる。また、酪農家の主要な収入は生乳販売および分娩に伴う子牛販売であることから、乳牛の出生から除籍までの生涯にわたる子牛および乳生産効率(生涯生産性)を高めることが利益の向上につながる。

乳牛の泌乳能力やピーク乳量を長く維持する能力(泌乳持続性)は個体によって異なるが、それらによって生涯生産性の向上に最適な分娩間隔や乾乳期間は異なることが分かってきた(山崎ら 2021)。泌乳持続性が高い乳牛は、低い個体よりも泌乳後期の日乳量が多いため、分娩間隔、すなわち泌乳期間がある程度長くても乳生産効率は維持される。子牛販売の効率は、分娩間隔が短いほど良くなるが、子牛価格により生涯生産性への貢献度が異なる。乾乳期間は、短い方が生涯で泌乳しない期間の割合が小さくなるため、特に泌乳持続性が高い場合、長く泌乳させることにより生涯生産性の向上に貢献するが、短すぎると次の分娩後の乳生産量が減少する。そこで、本稿では、様々な乳量水準や泌乳持続性において生涯生産性に最適な乾乳期間と分娩間隔を例示する。

2-1-1. 乳量水準と泌乳持続性の高さの設定と生涯生産性の指標

ここで例示する生涯生産性は、2005~2014年に分娩したのべ270万頭のホルスタイン種雌牛の乳用牛群検定記録において乳量が高め(305日乳量が初産10,000 kg、2産11,500 kg、3産12,000 kg程度)のものを対象に、泌乳持続性を低め、平均、高めに区分したものである(山崎ら 2019)。泌乳持続性の区分ごとの分娩後60~240日の月当たり乳量減少量を表1に示す。泌乳持続性が低めの牛と高めの牛を比較すると、泌乳ピーク以降の月当たり乳量減少量は、初産で約1.5 kg、2産以降で約2 kgの差がある。そのため、同じ乳量で分娩後日数の経過に伴う日乳量の推移(泌乳曲線)を見ると、泌乳持続性が低めの牛ではピークが高く泌乳後期が低い「への字形」となる一方、高めの牛では泌乳期間を通じて変化の少ない形となる(図5)。

表1 泌乳持続性水準ごとの

分娩後60~240日の月当たり乳量減少量			
泌乳持続性水準	低め	平均	高め
初産	1.7 kg	1.0 kg	0.2 kg
2産	3.0 kg	1.9 kg	1.0 kg
3産	3.1 kg	2.2 kg	1.3 kg

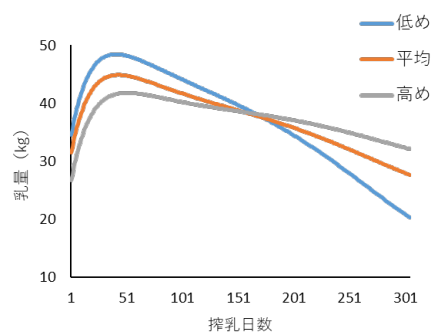


図5 泌乳持続性水準ごとの泌乳曲線
(2産を例示)

生涯生産性は、出生から4産次泌乳終了までの子牛販売額および乳生産量の日乳量換算値【(総子牛販売価格の乳量換算値+総乳量)/4産次泌乳終了時日齢】で評価した(図6、山崎ら 2021)。今回、子牛販売価格を約6万円として計算した。

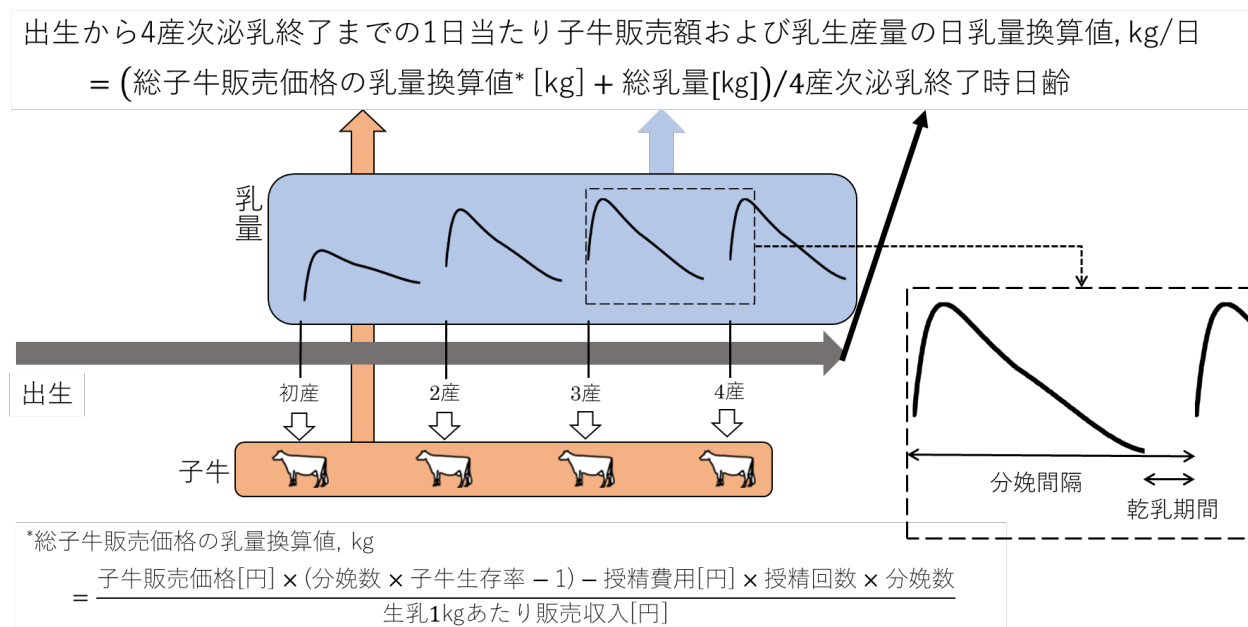


図6 生涯生産性の評価指標(日乳量換算値、kg/日)

2-1-2. 生涯生産性に最適な乾乳期間

2-1-1 で設定した乳量と泌乳持続性の高さを用いて、分娩間隔を現在の推奨値である365日に固定し、乾乳期間を30日から90日まで5日ごとに延長した場合の生涯生産性の変化を図7に示す(山崎ら 2021)。泌乳持続性の高さに関わらず、乾乳期間が45日程度の時、生涯生産性は最大になる。乾乳期間が長くなると生涯に占める泌乳しない期間の割合が増え、生産性が低下し、乾乳期間が40日以下では分娩後の日乳量が減少するためである(山崎ら 2021)。泌乳持続性が低い牛では45日より短いとき、高い牛では45日より長いときの生涯生産性低下が相対的に大きくなる。泌乳ピーク時の日乳量が多い、泌乳持続性が低い牛では乾乳期間短縮による乳量減少の影響のほうが大きい一方、泌乳持続性が高い牛では乾乳期間の延長による生産性低下の影響のほうが大きいのである。

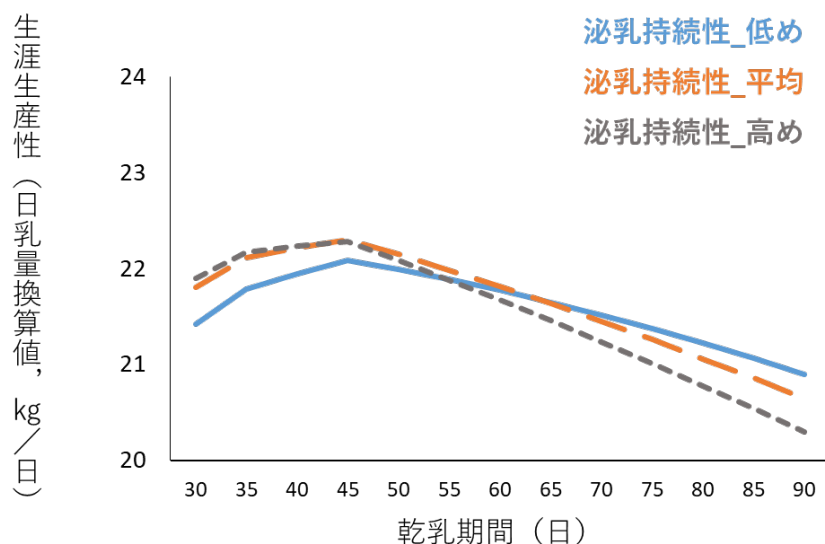


図7 乾乳期間の長さに伴う生涯生産性の変化（分娩間隔 365 日、子牛価格 6 万円）

2-1-3. 生涯生産性に最適な分娩間隔

乾乳期間を 2-1-2 で最適となった 45 日に固定し、分娩間隔を 365 日から 455 日まで 30 日ごとに延長した場合の生涯生産性の変化を図 8 に示す（山崎ら 2021）。泌乳持続性が低い牛では、365 日より分娩間隔が長くなるに伴い生涯生産性は低下する。泌乳持続性が低い牛は泌乳後期の日乳量が少なく生産性が低いため、生涯に占める泌乳後期の割合を増やす分娩間隔の延長は生産性を低下させる。一方、泌乳持続性が高い牛では、分娩間隔が長いとき生涯生産性は向上する。泌乳持続性が高い牛は泌乳後期の日乳量も高いため、分娩間隔の適度な延長は生涯に占める生産期間の割合を増やし、生産性を向上させる。図 8 では子牛価格 6 万円での試算結果を示しているが、子牛価格が 17 万円でもこの傾向は維持される（山崎ら 2021）。

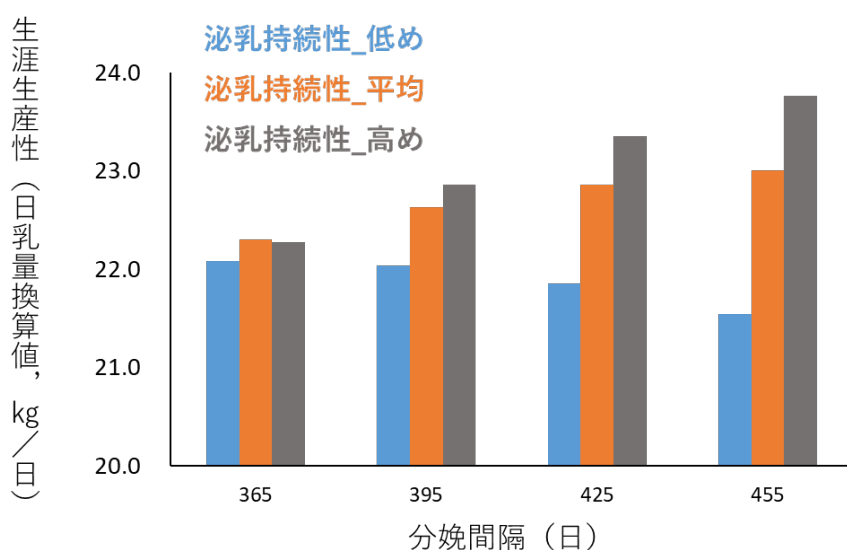


図8 分娩間隔の長さに伴う生涯生産性の変化（乾乳期間 45 日、子牛価格 6 万円）

2-2. 酪農家での乳牛の個性(乳量と泌乳持続性)の個体ごと・産次ごとの早期予測

2-1-3 で示した通り、乳牛の個性（乳量と泌乳持続性の水準）によって、生涯生産性を最大にする分娩間隔が異なる。そのため、事前に予測した個性に応じて個体ごとに分娩間隔を最適化できれば、群の生産性を最大にすることができる。分娩間隔の長さは、分娩から受胎までの日数（空胎日数）で決まることから、個性に応じて分娩間隔を最適化するためには、分娩後なるべく早期に個性を予測することが必要となる。例えば、分娩間隔を 365 日にするための空胎日数は、 $365 \text{ 日} - \text{妊娠日数（約 280 日）} = 85 \text{ 日}$ であるため、分娩後 85 日よりも前に個性を予測する必要がある。

本システムでは、1. で紹介した個体別乳量予測モデルにより、分娩後 60 日時点で分娩後 61～365 日目までの日乳量、すなわち、泌乳曲線を予測する。その泌乳曲線に基づき、個体の乳量と泌乳持続性の水準が算出できるため、分娩後 60 日時点で個性を予測することが可能である。乳量および泌乳持続性は、それぞれ分娩後 305 日間の累積乳量（305 日乳量）、および分娩後 240 日乳量－60 日乳量＋100 の値を指標とする。

2-3. 算出された個性から、最適な目標受胎日を提示

乳牛の個性ごとに生産性を最大にする受胎日を提示するため、産次・乳量・泌乳持続性の組み合わせごとに最適空胎日数（最適分娩間隔－280 日）をあらかじめ算出し、個体別乳量予測モデルを実装したシステム内に格納する。分娩後 60 日時点で算出した乳量と泌乳持続性の組合せが属する水準の最適空胎日数を引用し、目標受胎日（分娩日＋最適空胎日数）および乾乳予定日（目標受胎日＋235 日（280 日－45 日））を出力する（図 9）。

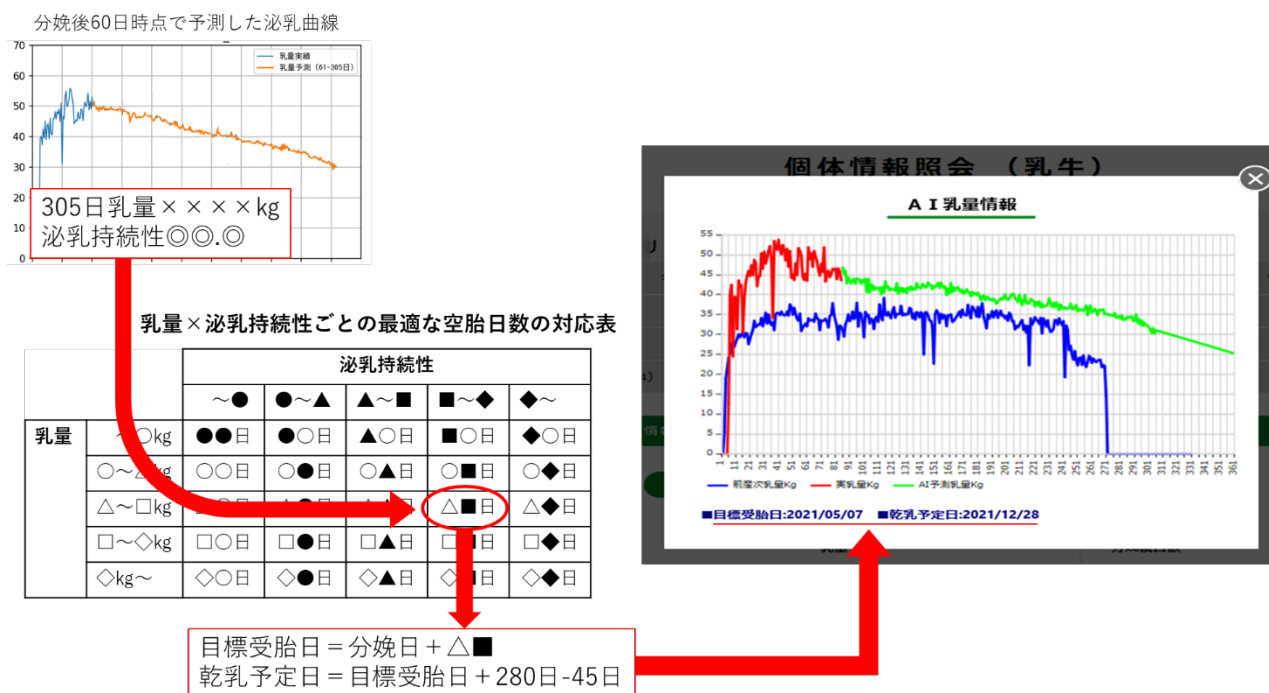


図 9 泌乳曲線の予測から目標受胎日提示までの流れ

2-4. 留意点

生涯生産性を最大にする分娩間隔は、子牛販売価格の影響を受ける。また、子牛販売価格を乳量換算する際に用いた生乳 1 kgあたりの販売収入（搾乳牛 1 頭あたり年間所得から子牛販売収入、乳牛償却費、人工授精費、獣医師料および医薬品費を除き、年間実搾乳量で割ったもの）は、農林水産省の農業経営統計調査による 2013 年～2015 年の畜産物生産費統計を用いて算出している（佐々木 2021）。これら価格に関する変数は時代により変化するため、生涯生産性を最大にする分娩間隔についてはこれら変数を定期的に見直し、適切な値を用いて再評価する必要がある。

参考文献

佐々木修, 2021. 乳用牛を 1 日長く飼養することの経済価値の算出. 畜産技術 794, 22-27.

山崎武志, 武田尚人, 山口茂樹, 田鎖直澄. 2019. 乳用雌牛における乳量および泌乳持続性水準と乳中体細胞数との関係. 日本畜産学会報 90, 13-21.

山崎武志, 武田尚人, 萩谷功一, 山口 諭, 久保田哲史, 田鎖直澄. 2021. 様々な空胎日数および乾乳期間における乳量, 仔牛生産および泌乳持続性の違いを考慮した乳用牛生涯生産効率のシミュレーション. 日本畜産学会報 92, 75-82.

3.【利用法 B】乳牛の疾病予兆検知

3-1. 健康な乳期と疾病記録のある乳期

図 10 に健康な乳期と乳房炎治療記録のある乳期における日乳量の推移を例示した。健康な乳期における日乳量（図 1 左）は、分娩後急激に増加し、約 2 カ月でピークに達した後、緩やかに減少する。一方、乳房炎治療記録のある乳期における日乳量（図 10 右）は、治療時、すなわち乳房炎の発症時に急激に減少する。また、減少した日乳量は治療後に回復するが、治療前の日乳量まで回復しない。このことから、乳量の急激な減少等の疾病の予兆を早期に検知し、治療等の対策により疾病の影響を軽減することは、治療後の乳量の回復を促し、疾病に伴う長期的な乳量の損失を防ぐ効果が期待される。

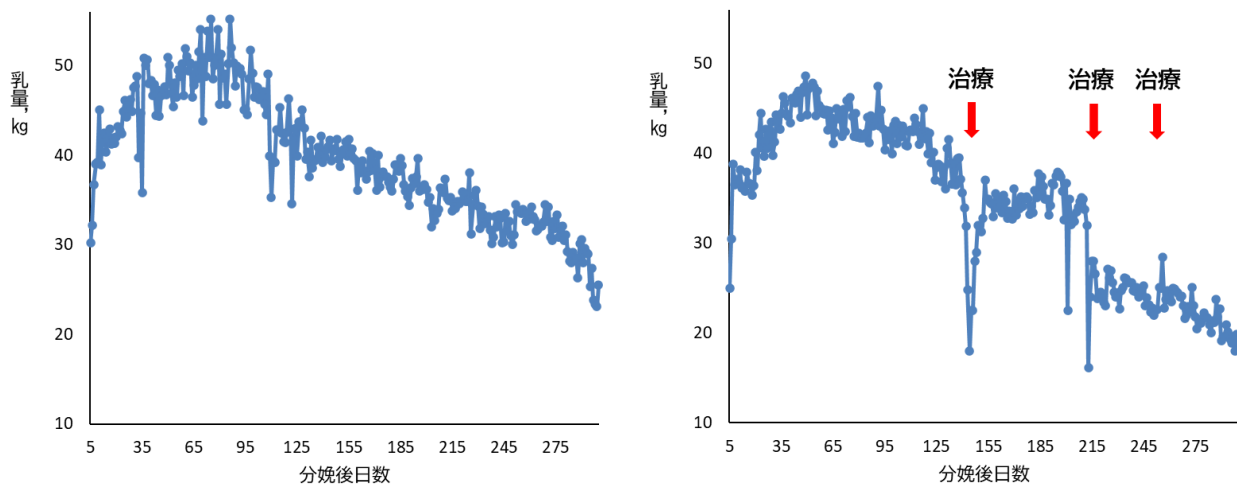


図 10 健康な乳期（左）と乳房炎治療記録のある乳期（右）における日乳量の推移の例

3-2. 機械学習による日乳量予測からの乖離と疾病検知

疾病による乳量の急激な減少を早期に察知するため、機械学習による日乳量予測モデルを応用し、酪農家が異常を察知する前の疾病検知を行うシステムを開発した。具体的には、機械学習による毎日の乳量の予測結果と実測値との乖離を検出し、これを乳量異常として検知するものである(図 11)。

疾病検知原理としては前日に予測した乳量と当日の実績乳量の乖離が一定の閾値以上に大きいケースを異常検出とし、乖離の程度として予測値に対する相対値(%)を用いることとした。また、異常検出が治療記録の発生以前に行えた場合を正解として扱った。

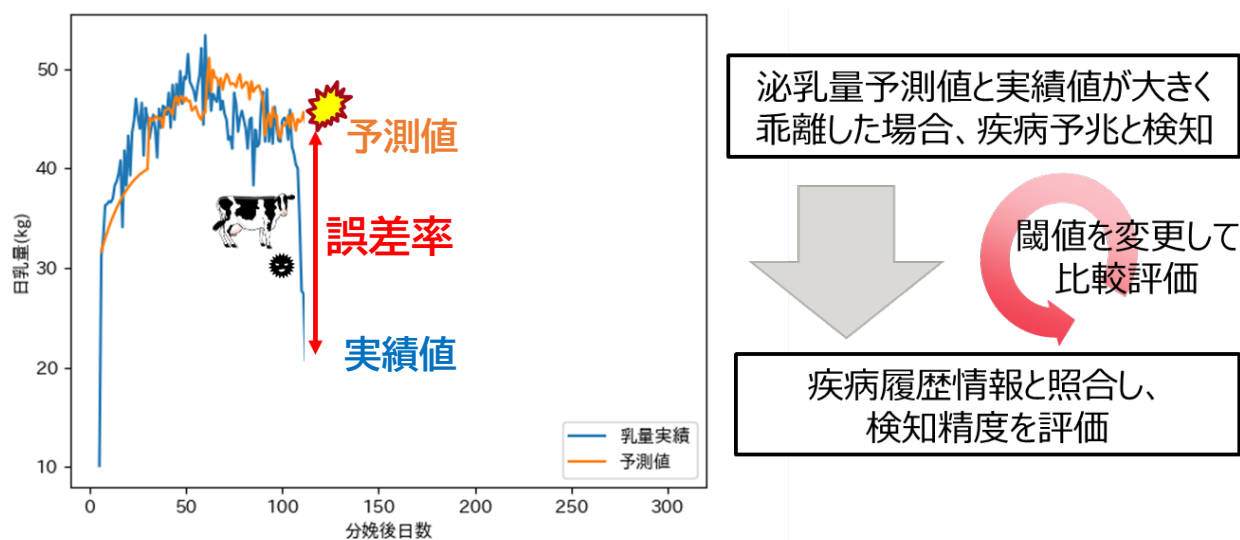


図 11 疾病予兆検知方法のイメージ

3-3. 疾病予兆検知の正答率と誤検出の関係

この種の手法では、検出の閾値の大きさが大きいほど疾病の誤検出が減るが、見逃しが増えて再現率（正解数/疾病件数）が低下する。逆に閾値の大きさを小さくすると、再現率（正解数/疾病件数）は向上するが誤検出が増えてしまう。そこで、適合率（正解数/（正解数+誤検出数））、再現率（正解数/疾病件数）を定義し、その調和平均としてF値（ $= (2 \times \text{適合率} \times \text{再現率}) / (\text{適合率} + \text{再現率})$ ）を算出し、これを評価指標とした。検証は2つの牧場の成績で行い、いずれの牧場でも予測された当日乳量に対して実績値が30%下回った場合を閾値とした場合にF値が最も高く、その場合の疾病の再現率は60%を超えていた（表2）。また、誤検出とされたケースでも、何らかの異常（乳量計故障やヒューマンエラーを含む）を検出しているであろうことから、実用可能な水準と判断している。

表 2 A 牧場と B 牧場での閾値設定と正解・誤検出の関係

	閾値	疾病 件数	正解 数	誤検出 数	適合率	再現率	F値
A牧場	-20%	2018	1596	983	61.9%	79.1%	69.4%
	-30%	2018	1367	347	79.8%	67.7%	73.3%
	-35%	2018	1160	228	83.6%	57.5%	68.1%
	-40%	2018	1043	163	86.5%	51.7%	64.7%
B牧場	-20%	1090	888	1290	40.8%	81.5%	54.4%
	-30%	1090	689	587	54.0%	63.2%	58.2%
	-35%	1090	612	424	59.1%	56.2%	57.6%
	-40%	1090	537	329	62.0%	49.3%	54.9%

3-4. システム実装

疾病検知の実装例では、酪農家の指向に対応するため、疾病予兆検知時のプッシュ通知の有無、および検知する乳量低下の閾値を3段階（低：-20%、中：-30%、高：-40%）で設定できるようにしている（図12）。

■ 疾病検知設定

|

疾病検知設定
※ A I 活用による泌乳量予測時のみ使用可能

☒

高

▼

←

無し、低、中、高を選択



図12 疾病検知の設定画面およびプッシュ通知の表示例

個体別乳量予測システム開発マニュアル

発行日 : 2024 年3月29日
発行 : 農研機構 北海道農業研究センター
編集 : 山崎武志・田鎖直澄
問い合わせ先 : 農研機構 北海道農業研究センター
TEL 011-851-9141 / FAX 011-859-2178

○ 免責事項

農研機構は、本マニュアルに記載されたデータの正確性、安全性、適法性、完全性などについて一切の保証をするものではなく、利用者がこのマニュアルの利用によって生じた結果、ならびに、このマニュアルが利用できないことによって生じた損失について、一切の責任を負いません。

○ 禁無断掲載

本マニュアルは、「私的利用」または「引用」など著作権法上認められた場合を除き、無断で転載、複製、販売などの利用をすることはできません。