



日本中央競馬会
特別振興資金助成事業

乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究事業報告書

令和5年3月発行

一般社団法人 日本ホルスタイン登録協会

乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究事業報告書

目 次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究事業の概要	2
第 3 章	疾病データの収集	13
第 4 章	SNP 検査データの収集	13
第 5 章	疾病データの編集と基礎分析	14
第 6 章	疾病形質の遺伝率の推定	26
第 7 章	疾病形質と他形質間の遺伝相関の推定	34
第 8 章	疾病形質の遺伝評価値の推定とゲノミック評価精度の検証	41
第 9 章	疾病形質に影響するゲノム領域の探索	56
第 10 章	わが国のホルスタイン雌牛集団における改良傾向の現状	65
第 11 章	種雄牛評価形質と娘牛数から推測される供用種雄牛の選抜傾向の変化	76
第 12 章	わが国のホルスタイン集団における世代間隔と遺伝選抜差の実態	90
第 13 章	生存時間解析を利用したホルスタイン集団における 表型的な機能的長命性と遺伝的体型形質の関連	103
第 14 章	回帰分析を利用したホルスタイン集団における 機能的長命性と体型形質の遺伝的関連	111
第 15 章	ホルスタインの遺伝評価形質における遺伝的パラメータの推定	119
第 16 章	体型に関する各種成分の見直し	131
第 17 章	繁殖性成分の開発における基礎分析	146
第 18 章	牛体の大きさに関する分析	150
第 19 章	無脂固形分量の育種価を間接予測する方法	159

第20章 生産寿命の改良を強化するためのNTP（総合指数）の見直し	
	並びにNTPの信頼度の推定方法の検討・・・163
第21章 耐病性成分の開発	・・・174
第22章 生乳生産向上と生産寿命の延長を同時に考慮した長命連産効果の見直し	・・・179
第23章 耐病性等の各種成分を利用した総合指数（NTP）の見直し	・・・197
第24章 総合的改良情報を開示するためのシステム開発	・・・208
第25章 本事業の成果と今後の展望	・・・212
付 録 事業実施計画書など	・・・214

委員（順不同）

- 大澤 剛史 独立行政法人家畜改良センター 改良部情報分析課乳用牛データベース係長
- 佐々木 修 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
畜産研究部門 乳牛精密管理研究領域長
- 佐分 淳一 独立行政法人家畜改良センター 改良技術専門役(改良部担当)
- 寺脇 良悟 乳用牛群検定全国協議会 会長
- 富樫 研治 一般社団法人家畜改良事業団フェロー
- 中田 和孝 北海道酪農家
- 萩谷 功一 国立大学法人北海道国立大学機構帯広畜産大学
生命・食料科学研究部門 家畜生産科学分野 准教授
- 半澤 善幸 都府県酪農家
- 増田 豊 酪農学園大学 農食環境学群 循環農学類 准教授

執筆者（順不同）

- 岡 太郎 一般社団法人日本ホルスタイン登録協会 事業部調査課 課長
- 川上 純平 一般社団法人日本ホルスタイン登録協会 北海道支局登録部改良課
- 河原 孝吉 一般社団法人日本ホルスタイン登録協会 北海道支局登録部改良課審査役
- 國行 将敏 一般社団法人日本ホルスタイン登録協会 事業部部長
- 後藤 裕作 一般社団法人日本ホルスタイン登録協会 北海道支局登録部改良課 課長
- 馬場 俊見 一般社団法人日本ホルスタイン登録協会 北海道支局登録部改良課 係長

第1章 はじめに

わが国の酪農生産基盤は酪農家戸数の減少とともに飼養頭数も減少する状況が続いてきたが、ここに来て性選別精液の活用・普及などの影響もあり飼養頭数は増頭し、これにより平成30年度から生乳生産量は増産の傾向にある。しかし、ひとたび予測できない大きな自然災害が発生すれば、その見通しも危うくなるなど、わが国の酪農生産基盤の弱体化が危惧される。加えて、乳用雌牛の飼養頭数は増加しているが、それは2歳未満の雌牛が増加しているためであり、2歳以上の経産牛は前年比4.9%減少している。特に、この傾向は都府県において顕著であり、供用年数の延長などによる搾乳牛の確保が重要な課題と言える。また、経産牛の生産寿命の低迷が続いており、牛群内の平均産次数はここ10年間を見ても上昇する兆しが見えない状況にある。今後、後継牛不足を補い搾乳牛を確保していくためには、泌乳能力や体型の改良だけでなく、繁殖性や耐病性のような形質の遺伝的改良を通じて、長命連産性をさらに向上するためのこ入れが必要と考えられる。

特に耐病性は遺伝率が0.1未満と低いことから、精度の高い育種価を推定するには多くの雌牛データを必要であるが、北米地域ではSNP（一塩基多型）検査の普及に伴い、疾病形質のゲノミック育種価（GEBV）を利用して、遺伝的に耐病性に優れた種雄牛を選抜できるようになった。一方、わが国では、耐病性を遺伝的に改良するための研究はこれまで十分に行われてこなかった。近年、還元される遺伝情報が北米と比較して充実していないことを理由に、海外でSNP検査する酪農家が増えているが、海外への国内乳用牛のSNP情報流出を防ぐためにも、疾病形質の遺伝評価に対する早急な対応が必要である。また、先のJRA畜産振興事業では体型の遺伝的改良を推進し、「体のサイズ指数」と「肢蹄指数」の研究開発を行ったが、総合指数（NTP）および長命連産効果を抜本的に見直す研究までには至らなかった。

本事業では、乳用牛の生産性・長命連産性を改良するため、全国の農業共済組合等の協力の下、疾病記録の提供と疾病記録を持つ牛のSNP検査で得られたゲノミック情報から、耐病性のゲノミック評価法と耐病性の選抜指数（耐病性指数）を研究開発するとともに、酪農経営に直結する泌乳能力に加え、生産寿命に影響する体型形質、繁殖性および耐病性を考慮した改良を推進するため、先行のJRA事業で開発した「体のサイズ指数」と「肢蹄指数」を利用して、NTP並びに長命連産効果の抜本的な見直しについて調査・研究を行った。

第2章 乳用牛生産性・長命連産性の遺伝改良研究事業の概要

1. 推進委員会の開催

本事業では、乳用牛の生産性・長命連産性を改良のため耐病性のゲノミック評価法に開発と、生産性や長命連産性を遺伝的改良で向上させるための種畜選抜手法を検討するため、学識経験者などから成る推進委員会を年1回（最終年度は2回）開催し、本事業における実施計画と各事業の効率的かつ円滑な推進に関する検討および本事業の達成目標などの自己評価結果の検証を行った。推進委員会の開催日程と議題は次のとおり。

(1) 令和2年度推進委員会

日時：令和2年9月11日（金） 13時～17時

場所：（一社）日本ホルスタイン登録協会 会議室（Web会議で開催）

議題：ア. 事業内容について

イ. 疾病データの収集状況について

ウ. データ分析対象の形質について

エ. 耐病性の遺伝改良手法の研究開発について

オ. 総合的改良指標の研究開発について

カ. 本年度の分析予定について

キ. その他

(2) 令和3年度推進委員会

日時：令和3年5月12日（水） 13時半～17時

場所：（一社）日本ホルスタイン登録協会 会議室（Web会議で開催）

議題：ア. 事業の概要と進捗状況について

イ. 令和2年度事業成果について

ウ. 令和3年度事業計画について

エ. 事業に係る助言について

オ. その他

(3) 令和4年度推進委員会（1回目）

日時：令和4年5月24日（火） 13時半～17時

場所：（一社）日本ホルスタイン登録協会 会議室（Web会議で開催）

議題：ア. 事業の概要と進捗状況について

イ. 令和3年度事業成果について

ウ. 令和4年度事業計画について

- エ. 事業に係る助言について
- オ. その他

(4) 令和4年度推進委員会(2回目)

日時: 令和5年3月9日(木) 13時半~17時

場所: (一社)日本ホルスタイン登録協会 会議室(一部 Web 会議)

議題: ア. 事業の概要と進捗状況

- イ. 令和4年度事業の成果について
- ウ. 本事業の自己評価について
- エ. その他

2. 推進委員会の概要

(1) 令和2年度推進委員会(令和2年9月11日)

ア. 事業内容について

(ア) 事業の目的と目標について

- 本事業では生産性・長命連産性の改良のための耐病性のゲノミック評価法の研究と耐病性指数を開発して、NTPと長命連産効果の見直しの研究を行う。
- 前年度までのJRA事業に引き続き、乳用牛の生産性および長命連産性の潜在的(遺伝的)能力を向上させるため、疾病形質のゲノミック評価法の研究と耐病性指数の開発、NTPと長命連産性の抜本的見直しの研究を行い、耐病性指数を使用した実践的選抜により各指数の年当たり改良量を目標とする。

(イ) 実施行程について

本事業で実施することは大きく分けて次の3つ

- ①乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究推進委員会開催事業
- ②乳用牛耐病性の遺伝改良手法研究開発事業
- ③乳用牛総合的改良指標研究開発事業

(ウ) 事業目標について

- 乳用牛の生産性および長命連産性を潜在的(遺伝的)に向上させるため、疾病形質のゲノミック評価法の研究と耐病性指数の開発を行う。耐病性指数を開発するために、疾病形質を少なくとも5形質選択して耐病性のGEBV推定手法を研究する。
- 先行のJRA事業で開発した「体のサイズ指数」「肢蹄指数」と本事業で開発した「耐病性指数」を使用して、総合指数(NTP)および長命連産効果の見直しについて研究をする。
- 最終年度には目標達成できたかの評価を行う。

イ. 疾病データの収集状況について

- 疾病データを利用するために農家から承諾書を収集する。対象農家は牛群検定農家で、かつ SNP 情報利用承諾書を取得している農家。
- 北海道では北海道農業共済組合連合会、都府県は千葉県農業共済組合から疾病データを収集する。
- 疾病データを持つ牛で SNP 情報を持たない雌牛の SNP 検査を 3 年間で 3,300 頭、SNP 情報が得られていない種雄牛（主に輸入精液）の SNP 検査を 3 年間で 1,300 頭分実施する。

ウ. データ分析対象の形質について

- 過去 5 年間の疾病状況から各疾病の診療頭数並びに死亡頭数を調査する。
農林水産省では一部の伝染病について病名を変更したことから、現在分析用に使用する疾病データについて、今後どのような形で農済連から提供されるのか調査中。

エ. 耐病性の遺伝改良手法の研究開発について

- 北海道および千葉県の農業共済組合から得られた疾病情報のデータ編集や生産寿命の関連解析、遺伝的パラメータの推定、ゲノムワイド関連解析を行い、育種価の推定方法の開発、選抜指数法を利用した耐病性指数の開発、遺伝的改良量を予測する。

オ. 総合的改良指標の研究開発について

(ア) 総合的改良指標研究開発事業

- 遺伝的パラメータおよび選抜指数法による調査研究を行い、生産性と長命性を総合的に遺伝的改良するため、疾病の遺伝情報（疾病指数等）を含めた新しい総合指数（NTP）および長命連産効果を研究開発する。

(イ) 総合的改良情報システムの開発事業

- 新しく開発した NTP および長命連産効果を活用し、生産性向上および長命連産性延長を目的とした実践的乳牛改良情報を Web 上等でモデル的に運用するためのシステムを開発する。同時に、NTP および長命連産効果の利用方法を試行する。

(ウ) 総合的改良情報の普及推進事業

- 生産性向上および長命連産性延長のため、耐病性指数や新しい NTP および長命連産効果等の利用促進のリーフレットを作成する。

(2) 令和 3 年度推進委員会（令和 3 年 5 月 12 日）

ア. 事業の概要と進捗状況について

- 令和 2 年度事業の概要と進捗状況について事務局から報告。
 - ① 令和 2 年 9 月 11 日に推進委員会を開催し、事業の概要と当年度事業の実施計画を説明し了承を得た。
 - ② 北海道と千葉県の 731 農家のデータ利用承諾を得て 100 万件を超える疾病データを

収集し分析に利用した。

- ③ 農業共済診療記録の基礎分析および各疾病の罹患が泌乳、体型、繁殖並びに長命性形質に及ぼす表型的調査、疾病形質の遺伝分析を行った。
- ④ 疾病データの提供を受けた酪農家牛群の中の 886 頭を対象に SNP 検査を行った。また、SNP 情報が得られていない種雄牛（主に輸入精液）については、国内 AI 事業体並びに輸入精液取扱商社から 249 頭分の凍結精液を購入し、その凍結精液を用いて SNP 検査を行った。
- ⑤ 提供を受けた疾病データを分析可能な状態に編集し、各種疾病の出現頻度を調査して酪農経営に及ぼす重要な疾病を特定する分析を行った。疾病と泌乳量、体型、繁殖性および生産寿命との関係など表現的分析を行い、疾病が乳牛の生産性に及ぼす影響を調査した。
- ⑥ 生産寿命と他の経済形質との遺伝的パラメータ（遺伝相関等）を推定し、生産寿命の延長が期待できる NTP について研究を行った。

イ. 令和 2 年度事業成果について

- 耐病性の遺伝的改良手法の研究開発について事務局から報告。

(ア) 北海道および千葉県の診療データを病類コードで分析し、出現頻度を集計した結果、19 区分のうち、診断件数全体の 1%以上を占めた呼吸器病、消化器病、泌乳器病など 7 つの病類コードを抽出、さらに肺炎や第四胃変位、子宮内膜炎など、病類コードの病名で整理をした。診療データを基に個体識別番号を特定できた牛は 19 万 2 千個体で 44 万 6 千記録であり、それらを用いて各疾病の出現頻度を集計した。

(イ) 各疾病の罹患が泌乳、体型、繁殖および長命性形質に及ぼす影響について調査を行った。その結果、泌乳形質の乳量は第四胃変位、体細胞スコア（SCS）は乳房炎などと大きな影響あり。繁殖形質の授精回数、空胎日数には鈍性発情や卵巣停止等、在群期間は肺炎や乳房炎の影響が大きかった。体型形質の肢蹄は関節炎、乳器は乳房炎、決定得点は関節炎と乳房炎の影響が大きかった。

(ウ) 疾病形質の遺伝率、育種価の推定、既存形質の育種価間の相関を調査した。疾病形質の遺伝率は初産、2 産どちらも 0.002~0.058 という数値であった。疾病形質の育種価間の相関では有意な差はなかった。

(エ) 疾病に罹患すると、泌乳や繁殖成績の低下や早期淘汰のリスクを高めることが分かった。また、疾病形質の遺伝率が低いことから、正確な育種価を推定するためにより多くの疾病データが必要である。疾病形質の改良を行っても、既存の形質に与える影響は小さいことが推測された。

- 総合的改良指標の研究開発について事務局から報告。

(ア) 種雄牛評価形質と娘牛数から推測される供用種雄牛の選抜傾向について調査した。調査には 2007 年から 2020 年までに生まれた約 285 万頭の血統登録雌牛を用い、種雄牛

の EBV と翌年に生まれた娘牛数の相関を年次別で調査した。泌乳能力は年々上昇し、乳成分率も上昇傾向を示した。しかし、体型については耐久性成分、乳器、肢蹄など調査した6形質ですべて低下していた。

(イ) NTP の見直しに必要な、遺伝的パラメータの推定を調査した。今回の NTP の見直しでは在群期間を在群能力に変更するため、在群能力とその他の形質の遺伝分散の推定を行った。調査の結果、在群能力の遺伝率は平均で 0.100 であった。TPL84、THL84 と比較しても同程度の遺伝率である。在群能力と泌乳量の遺伝相関は低い負の相関であり、体型形質では乳用性や体の大きさの形質でも低い負の相関であった。

(ウ) 泌乳能力と生産寿命のバランスのとれた選抜について調査するため、NTP に在群能力を加えた場合の改良量を調査した。在群能力は生産寿命の改良に有効であるが遺伝率が低い。生産寿命を延長するためには多くの原因が挙げられ、機能性、疾病・繁殖性ととも在群能力の重みを検討する必要がある。また原因が特定できない要因を在群能力で選抜し、遺伝率の低い形質を NTP に取り込む場合は、NTP の信頼度を併記する必要がある。

ウ. 令和3年度事業計画について

- 令和3年度の事業計画について事務局から報告。
 - ① 推進委員会は5月12日に開催。
 - ② JRA 事業ヒアリングでの意見を受け、北海道、千葉県のほかに、福島県、鳥取県、熊本県からも疾病データの収集を行う。
 - ③ 疾病データを持つ雌牛 1,173 頭の SNP 検査を行う。
 - ④ SNP 情報のない種雄牛（主に輸入精液）500 頭の SNP 検査を行う。
 - ⑤ 前年度同様、疾病形質の中から 5 形質以上選択し、泌乳能力および生産寿命との遺伝的関係と遺伝評価手法を研究開発する。
 - ⑥ 前年度同様、遺伝的パラメータおよび選抜指数法による調査研究を行い、生産性と長命性を総合的に遺伝的改良するための基礎分析を行う。

エ. 事業に係る助言について

- 耐病性指数はゲノミック評価だと思うが、大多数の雌牛が SNP データを持っていないので検討する必要がある。
- NTP と長命連産効果の位置づけを明確にして開発する必要がある。
- 繁殖性の改善が滞っている。それが改善される NTP の作成を期待する。
- 5 つの疾病形質から指数を作成すると思うが、場合によっては負の重みづけになる可能性がある。利用者がマイナスだからと勘違いようにしないよう、留意が必要。

(3) 令和4年度推進委員会（1回目）（令和4年5月24日）

ア. 事業の概要と進捗状況について

● 令和3年度事業の概要と進捗状況について事務局から報告。

- ① 令和3年5月12日に推進委員会を開催し、事業の概要と当年度事業の実施計画を説明し了承を得た。
- ② 耐病性の遺伝的改良手法の研究開発では、新たに福島県、鳥取県および熊本県を加えた5道県992戸のデータ利用承諾を得た農家から、194万件を超える疾病データを収集し分析に利用した。
- ③ 疾病データの提供を受けた酪農家牛群のうち、福島県を除く4道県1,028頭を対象にSNP検査を行った。また、SNP情報が得られていない種雄牛（主に輸入精液）については、202頭分の凍結精液を購入し、その凍結精液を用いてSNP検査を行った。
- ④ 今年度新たに鳥取県と熊本県のデータが追加されてデータ数が増大したので、前年度に引き続き、遺伝率を推定し、遺伝評価手法の検討を行った。さらに、泌乳能力および生産寿命との遺伝的関係を調査分析した。
- ⑤ NTPの抜本的な見直しのため、今年度は雌牛集団におけるゲノミック評価前後の改良傾向について調査し、泌乳形質の改良量の増加と繁殖形質の改善が見られたが体型の改良スピードが低下していることを明らかにした。また、機能的長命性と体型の遺伝的な関係を調査し、NTPに組み入れるための体の大きさ、肢蹄、乳器などの各体型成分の検討を行った。

イ. 令和3年度事業成果について

● 耐病性の遺伝的改良手法の研究開発について事務局から報告。

- (ア) 北海道および千葉県に加え、今年度は福島県、鳥取県、熊本県の診療データの提供を受けた。5道県992農家から194万2千件の診療データを用いて再編集を行った。初産から3産までに出現頻度の多い疾病21項目について罹患率等を調査した。乳房炎、第四胃変位は分娩から30日までの期間で罹患率が高かった。卵巣停止は分娩後31～90日の期間で多く発生する傾向であった。
 - (イ) 初産から3産までの疾病データを利用して遺伝率を推定した。各産次の推定遺伝率は10%未満であったが、乳房炎、第四胃変位、生殖器系はやや遺伝率が高かった。産次間での遺伝相関は多くの形質で高い相関を示していた。このことから初産～3産の記録をまとめて分析しても問題ないと考察された。
 - (ウ) 疾病と他形質間の遺伝相関を推定した。疾病抵抗性の改良には、経済形質との関係性の把握が重要であり、既存形質との遺伝的関係を調査する必要がある。疾病形質は泌乳や体型形質と遺伝的な関係が存在していることが判明した。
 - (エ) 疾病形質に対するゲノミック評価の有効性を検証した。12,674頭のSNPデータを用いて回帰分析を行った。多くの形質でPA（両親平均）よりもGEBVの決定係数が上昇し、より正確な育種価の推定が可能となり、信頼度が向上した。
- 総合的改良指標の研究開発について事務局から報告

- (ア) ホルスタイン雌牛集団における改良傾向の現状を把握するため、選抜反応量を調査した。調査は標準化育種価のトレンドとゲノミック評価前後の改良量を比較した。ゲノミック評価以後、乳量や乳成分の改良が顕著で、繁殖成績が改善されている一方、体型形質では改良のスピードが低下した。
- (イ) 機能的長命性と体型形質の遺伝的関係について生存時間解析を行った。体の大きさ関連の形質では遺伝的に高いほど淘汰の相対危険度は上昇した。肢蹄形質では肢蹄と歩様の育種価が高い個体ほど淘汰の危険度は低い。前乳頭および後乳頭の配置が内付きの牛は、淘汰の危険性が増加する。
- (ウ) 機能的長命性と体型形質の遺伝的関係について回帰分析を行った。淘汰を少なくするためには体の大型化しない方向に選抜する必要がある。後乳頭の配置は内付きから外付きに改良することが望ましい。
- (エ) 遺伝評価形質のパラメータの推定を行った。体の大型化や乳用性の改良は長命性を短縮する可能性が示唆された。また、乳房形質による選抜・改良は長命性の延長が期待でき、肢蹄形質の選抜は繁殖性の改良に期待できることが判明した。
- (オ) 体型の各種成分について見直しを行った。これは先行事業で体のサイズ指数と肢蹄指数を開発しているが、これらの指数を NTP に組み込むため、名称の一部、指数を成分に改め、遺伝的パラメータを検討した。体貌と骨格の得率が遺伝的に低下しない範囲で体の大きさを小型化するための選抜指数を試作した結果、試作 3 で小型化の速度は遅いが、体貌と骨格を正の方向に改良しながら体を小型化することが可能となった。肢蹄指数は肢蹄と歩様の重みを 0.5 : 0.5 にすることで繁殖性と生産寿命を均等に改良できる間接反応が生じる可能性が示唆された。乳房成分では 3 種類の成分を使い予測改良量を推定したが、改良量に大きな差異はなく、乳房成分は現行の成分を利用することとした。
- (カ) 繁殖性を改善し、生産寿命を延長するための繁殖性成分の作成に関する分析を実施した。5 形質から成る指数 1、3 形質から成る指数 2 で遺伝的改良量を比較したところ、繁殖性と生産寿命の改良量に大きな違いがないことから、シンプルな指数 2 が使いやすいとした。

ウ. 令和 4 年度事業計画について

- 令和 4 年度の事業計画について事務局から報告。
 - ① 推進委員会は 5 月 24 日と年度末の 2 回開催。
 - ② 昨年度に引き続き 5 道県から疾病データの提供を受ける。
 - ③ 疾病データを持つ雌牛の SNP 検査については、3 年間の目標である 3,300 頭に達成するよう実施。また、SNP 情報のない種雄牛（主に輸入精液）400 頭の SNP 検査を実施する。
 - ④ 前年度同様、疾病形質の中から 5 形質以上選択し、遺伝的手法および耐病性指数

の研究開発を行う。

- ⑤ 疾病指数を含めた新しい NTP および長命連産効果を研究開発し、各評価値に基づく雌牛と種雄牛の序列付けを行う。
- ⑥ 新たに開発した NTP および長命連産効果を活用し、生産性向上および長命連産性延長を目的とした実践的乳牛改良情報を Web 上等でモデル的に運用するためのシステムを開発する。
- ⑦ 生産性向上および長命連産性延長のため、耐病性指数や新しい NTP および長命連産効果等の利用促進のリーフレットを 5,000 部作成し配布する。また、今後の研究進展に役立てるために研究成果を取りまとめ、報告書を 300 部作成し配布する。

エ. 事業に係る助言について

- 疾病関係は多くの酪農家・関係者が関心を持っているので、上手くまとめて欲しい。
- 分析量が多く難易度の高い研究を実施している。大変かと思うが研究を継続してほしい。
- こまめな研究を継続していることに敬意を示し感謝する。
- 今後も多くの農家が経営の現状を理解し、ゲノミック情報等を活用した交配計画を実行してほしい。
- NTP を利用することで乳牛集団の改良レベルが向上し、より堅実な酪農経営基盤の安定、ひいては日本酪農の維持発展に繋がる。新しい NTP に期待したい。
- 海外との競合を含め、引き続き研究をお願いしたい。

(4) 令和 4 年度推進委員会 (2 回目) (令和 5 年 3 月 9 日)

ア. 事業の概要と進捗状況

- 今年度事業の進捗状況について事務局から報告。
 - ① 昨年 5 月 24 日に推進委員会を開催し、事業の概要と当年度事業の実施計画を説明。
 - ② 5 道県 1234 戸のデータ利用承諾を得た農家から、246 万件を超える疾病データを収集し分析に利用した。
 - ③ 疾病データの提供を受けた酪農家のうち、5 道県 1,269 頭を対象に SNP 検査を行った。また、SNP 情報が得られていない種雄牛 (主に輸入精液) については、190 頭分の凍結精液を購入し、その凍結精液を用いて SNP 検査を行った。
 - ④ 前年度に引き続き、遺伝率を推定し、遺伝評価手法の検討、泌乳能力や生産寿命などの遺伝相関を推定した。出現頻度の高い 8 種類の疾病形質を選択し、ゲノミック育種価を推定した。
 - ⑤ 家畜改良増殖目標の指針に従い、NTP の泌乳能力の重み付けを 60% として体細胞スコア、乳器、肢蹄、繁殖性および耐病性を改良することで、現在の NTP よりも生産寿命の延長が期待できる指数に見直した。また、長命連産効果も泌乳形質の重みを 50% 以下にすることで、生産寿命の延長に効果を発揮するバランスのとれた改良が期待でき

るよう見直した。

⑥開発した耐病性成分と新たに試作した NTP と長命連産効果について、酪農現場で即時に利用できるようインターネットを利用した総合改良情報システムを開発した。

イ. 令和 4 年度事業の成果について

● 耐病性の遺伝的改良手法の研究開発について事務局から報告。

(ア) 分析では、初産から 5 産までのホルスタイン種血統登録牛を対象とした。分析対象の疾病を出現頻度の高い 8 形質（第四胃変位、子宮内膜炎、乳房炎、乳熱、胎盤停滞、産褥熱、ケトーシス、肢蹄病）に絞り込んで分析を行った。疾病記録数は初産が多く、産を重ねるにつれて、記録数は少なくなっている。罹患率は 8 形質のうち乳房炎が一番多く、次に乳熱であった。地域別では疾病の発生に地域差が見られた。

(イ) 分散分析の結果、乳房炎では季節で罹患リスクに差があった。また、乳量では疾病に罹患した牛は乳量が減少し、淘汰リスクも高くなっていた。

(ウ) 疾病形質間の遺伝率では、各産次の遺伝率は 10%未満であったが、乳房炎と第四胃変位はやや高い傾向を示した。遺伝相関は 8 形質でいずれも初産から 5 産で正の遺伝相関があった。疾病形質と体型の遺伝相関では、体のサイズが大きい牛は疾病罹患リスクが高く、多くの疾病でボディコンディションスコア（BCS）と正の遺伝相関が認められた。

(エ) 疾病形質のゲノミック評価値についてシングルステップ BLUP 法で GEBV を推定した結果、8 形質の疾病の期待信頼度は SNP データを利用することで信頼度が向上した。また米国との遺伝相関を比較した結果、複数産次の反復記録モデルの評価値はより高い相関があった。

(オ) ゲノムワイド関連解析による調査の結果、疾病に影響するゲノム領域を確認することができたが、育種選抜に利用するには更なる調査が必要とした。

(カ) 疾病形質の改良によって長命連産性の向上が期待される一方で、疾病形質の中には泌乳・体型形質と遺伝相関が存在する形質があり、耐病性指数の作成や NTP に組み込む際には注意が必要とした。

● 総合的改良指標の研究開発について事務局から報告。

(ア) 体の大きさに関する分析では、体の大きさと決定得点の関係を調査し、線形形質の育種価を利用して体重を適正な方向に改良する選抜指数（体重成分）を開発し、体重と泌乳形質および体型形質の遺伝相関を推定した。体重と泌乳形質間には低い正の遺伝相関があり、体貌と骨格、乳用強健性、決定得点、高さ等 8 形質において顕著な遺伝相関があった。

(イ) 無脂固形分量（および率）は国際遺伝評価（MACE）の評価対象外であるため、海外種雄牛の育種価は公表されていないことから、海外種雄牛を長命連産効果によって序列するため、無脂固形分量の育種価を予測する回帰式を推定した。

- (ウ) 5 道県の農業共済組合から提供された疾病データについて、耐病性に関する育種価の推定と、出現頻度が高く選抜反応がある程度期待できる疾病 8 形質を選定し、耐病性指数（耐病性成分）を開発した。今後は実用化に向けた研究が必要であり、出現頻度が少なかった肢蹄の疾患については、蹄底潰瘍、趾皮膚炎など個別の疾病で遺伝率が上昇する可能性があることから更なる調査が必要とした。
- (工) 長命連産効果は 2011 年に開発、同年 8 月の種雄牛評価成績から公表を開始したが、公表から 10 年以上経過している。今回、耐病性等に関する育種価が推定できたことから、生乳生産性の向上と生産寿命延長のための遺伝的価値を再評価するため、長命連産効果の見直しを行った。新たな長命連産効果は現行の同効果と比較して、泌乳改良量は増加するが、体型の改良量はやや減少し、乳脂率と乳タンパク質率がわずかに負の方向に反応した。体型では体貌と骨格の選抜反応量が負の傾向、決定得点は上昇する。雌牛集団の生産性向上に有効であるとして、長命連産効果を早急に変更することが望ましいとした。
- (オ) 2022 年に開発された NTP について、耐病性等の成分を加えて見直しを行った。乳脂量と乳タンパク質量、耐久性成分と疾病繁殖成分を変更して新 NTP を試作し、各形質および成分の反応量を調査した。現行 NTP を利用した選抜では体重成分が正の方向に反応して体の大型化を促進し、耐病性を低下させる可能性がある。これに対して試作 2 は現行 NTP より乳房や肢蹄等の体型形質の反応量が少ない分、体の大型化を抑えて生産寿命や耐病性の改良が期待できる。

ウ. 本事業の自己評価について

- 事務局で自己評価した内容および評価点について説明し、各推進委員から自己評価に対する評価と助言を受けた。

エ. 事業に係る助言について

- 北海道は、他の県と比較すると乳房炎が多いため、分娩時月齢に地域差を含めて検討した方がよい。
- 初産で乳熱の罹患率が低いため、遺伝分析が難しいと思われる。疾病形質の遺伝率は概ね 5%以下だが、乳房炎の遺伝率が高い結果が得られている。これは農済の詳細なデータを用いたことで乳房炎を正確に評価できているためかもしれない。乳検情報など多方面のデータを活用して遺伝評価値を推定してほしい。
- 初産時のみの記録を利用するよりも複数産次の記録を利用して遺伝評価を行うことが好ましいと考えられる。乳熱以外は良好な結果が得られているように見える。詳細な分析と網羅的な解析であると評価する。事業の成果報告だけに留まらず、学会や家畜育種業界に広く周知してほしい。
- 開発した長命連産効果は、現在のものよりも明確な改良効果が期待でき、実用化については概ね問題ないと思う。

- 本事業で開発した長命連産効果や NTP は数学的で論理的で科学的な根拠に基づくものであるが、生産現場に受け入れられるかどうかの検討も必要である。開発した指数をたたき台として、改良する余地があるのであれば、次のステップで考えるべき。
- 肢蹄成分に歩様が含まれているが、歩様はまだ国内で歩様の評価がされていないので、歩様の扱いをどうするかが課題としてある。
- 長命連産効果は短期的な経済性を最大化する目的とし、最近の統計情報を使っているが、3～5 年の頻度で見直しが必要になるのではないか。遺伝ベースに合わせて見直さないといけないが、長期的には定期的に見直すことを考えた方がよい。
- 今回見直しした NTP の公表を次期の遺伝ベース見直し(2025 年)公表までは待てない。NTP 変更後に再度修正を行っても大きな影響はないと思う。また、長命連産効果も早期に修正するのが望ましい。
- 指数に多少修正があったとしても、新しい指数を使って種雄牛を選抜できるシステムを早く構築した方がよいと思う。

第3章 疾病データの収集

事業では、乳用牛の耐病性の遺伝改良手法の研究するにあたり、5道県の農業共済組合から疾病データの提供同意農家から疾病データの提供を受けた。

令和2年度は北海道農業共済組合連合会及び千葉県共済組合から1,115,279件の疾病データを収集し、令和3年度、4年度は福島県、鳥取県、熊本県の農業共済組合からの疾病データも加わり、それぞれ1,941,738 および2,469,764 件の疾病データを収集した。

表 各農済から提供を受けた疾病データ数

地域	令和2年度	令和3年度	令和4年度
北海道	1,110,707	1,803,820	2,273,901
福島県	48,572	18,377	23,708
千葉県		55,711	59,961
鳥取県		26,026	32,117
熊本県		37,804	80,077

第4章 SNP 検査データの収集

疾病データの分析対象及び同期牛において SNP 情報を持たない雌牛の SNP 検査を実施した。また、疾病関係の遺伝評価に重要な種雄牛でありながら、いまだ SNP 情報が得られていない種雄牛(主に輸入精液)の SNP 検査を実施した。令和2年度は雌牛 886 頭、種雄牛 249 頭、令和3年度は雌牛 1,028 頭、種雄牛 202 頭、そして令和4年度は雌牛 1,282 頭、種雄牛 190 頭の SNP 検査データを収集した。

表 各地域から収集したSNP検査データ数

年度	種雄牛	雌牛				
		北海道	福島県	千葉県	鳥取県	熊本県
令和2年度	249	686	200			
令和3年度	202	820		60	46	102
令和4年度	190	905	110	40	149	78

第5章 疾病データの編集と基礎分析

1. はじめに

農業共済組合(以下、農済)の家畜共済には日本全土の多くの酪農家が加入しているため、診療記録(疾病データ)は全国のホルスタイン集団の特徴を捉えることができる有用な情報であり、耐病性の育種改良にも大いに貢献すると期待される。しかしながら、疾病データは獣医師の診察を受けた個体の記録であるため、遺伝分析を行うためには同一牛群に在籍する健康な個体も含めるなどのデータ編集が不可欠である。また、疾病データを利用した統計解析は阿部ら(2022)の報告がある程度で、全国規模のデータによる報告事例がない。

本章では、疾病データのデータ編集を実施し、疾病形質に影響を与える環境要因さらには乳量および生存率に対する疾病の罹患が与える影響を調査した。

2. 分析方法

(1) 疾病データの編集

5 道県の農済により提供を受けた疾病データを利用した。表 5-1 には、提供された疾病データの概要を地域別に示した。

表 5-1. 各農済より提供を受けた疾病データの概要

地域	記録数	農家戸数	診療日の範囲
北海道	2,273,901	1,099	2004/02/04～2022/06/21
福島	23,708	20	2004/05/01～2022/06/21
千葉	59,961	32	2008/02/01～2022/03/17
鳥取	32,117	38	2013/11/04～2022/04/30
熊本	80,077	45	2000/01/01～2022/02/27

これらのデータと血統情報および牛群検定記録を結合し、解析のためのデータを作成した。以下には、主なデータ編集の手順を示した。

- 個体識別番号をキーに血統登録牛を割り出した。疾病データに個体識別番号の欠落がある記録は、データ内に含まれていた名号および生年月日と照合し血統登録牛を特定した。
- 分娩年月日と発病年月日を照合し、疾病を罹患時の産次(初産から5産まで)を特定した。異なる産次の記録が含まれる可能性を減らすため、診療時点の発病日数は分娩後305日以内にあることを条件とした。その後、牛群コードおよび分娩年をキーに、同期牛(疾病データを持たない雌牛)の記録とデータ結合した。
- 初産次の分娩年が2004年以降である個体の記録を抽出した。
- 分娩時月齢が初産で18から35ヶ月齢、2産で30から55ヶ月齢、3産で42から75ヶ月、4産で54から95ヶ月、そして5産で66から115ヶ月の範囲にある記録を抽出した。

(2) 分析対象とした疾病形質

疾病データには疾病、傷害、事故などのあらゆる記録が含まれているが、育種改良の対象とする疾病は罹患率が高く、かつ経済的損失が大きいものを優先にすべきである。本事業では疾病データの中分類区分で診断件数を集計し、その件数が比較的多い項目を疾病形質として解析を行うこととした。その形質は、1: 第四位変異(左方変位、右方変位)、2: 子宮内膜炎、3: 乳房炎(甚急性、急性、慢性、潜在性、乾乳期の乳房炎)、4: 乳熱、5: 胎盤停滞、6: 産褥熱、7: ケトーシス、そして8: 関節炎、趾間フレグモーネ、趾皮膚炎、蹄葉炎、白帯病および蹄底潰瘍の疾病を含む肢蹄病の8つであった。肢蹄に関する疾病をひとつの形質として扱った理由は、各疾病の罹患率が非常に低かったためである。なお、ここに列挙した疾病以外に生殖器病の鈍性発情や卵胞囊腫などのように診断件数が多いものも存在したが、5 道県間および地域内の牛群間の罹患率に極端に大きな差が観測されたため分析対象から除外した。

分析に利用したデータには、前述したデータ編集に分析対象とした各疾病が同一牛群で複数年にわたって罹患していることを条件に追加した。この編集は、Gaddis ら(2012)のデータ編集を参考に特定の疾病の罹患が全く観測されていない牛群のデータを除外することを目的に行った。したがって、分析に利用した疾病形質のデータは形質によって異なることになる。

(3) 疾病形質に与える影響要因の調査

上記で定義した疾病形質に影響を及ぼす環境要因を明らかにするために、初産から3産の疾病データを用いて下記の母数効果を含んだ分散分析を実施し、考慮した効果の有意性を調査した。

$$y_{ijkl} = HY_i + BYM_j + AGE_k + e_{ijkl}$$

ここで、 y_{ijklm} は非罹患(2)および罹患(1)を示す二値コード、 HY_i は牛群・分娩年の母数効果、 BYM_j は地域・分娩年月の母数効果、 AGE_k は分娩時月齢クラスの母数効果、 e_{ijklm} は残差である。ここで考慮した環境要因は、(独)家畜改良センター(2022)を参考にした。初産および3産の分娩時月齢クラスの水準数は、初産で15クラス(18から20ヶ月齢および21と22ヶ月齢をクラス化)、2産で25クラス(24から31ヶ月齢をクラス化)、3産で28クラス(36から43ヶ月齢、68から69ヶ月齢、70から72ヶ月齢、73から75ヶ月齢をクラス化)であった。

さらに、疾病に対する年次、分娩季節および分娩月齢の影響を調査するために、以下の統計モデルを用いた分散分析を同様に実施した。

$$y_{ijklm} = H_i + Y_j + S_k + AGE_k + e_{ijklm}$$

ここで、 H_i は牛群の母数効果、 Y_j は分娩年の母数効果、 S_k は分娩季節の母数効果である。分娩季節は3-5月、6-8月、9-11月、12-2月の4区分とした。これらの分析は、SAS(SAS Institute, Cary, NC, USA)のGLMプロシジャを用いて実施した。

(4) 疾病形質と乳量および生存率間の表型的関係の調査

続いて、初産から3産のデータを利用し、各疾病の罹患が乳量および生存率に与える影響を表型的に調査した。分析は、以下の母数効果を含む統計モデルで行った。

$$y_{ijklm} = HY_i + BYM_j + AGE_k + D_l + e_{ijklm}$$

ここで、 y_{ijklm} は各産次における305日乳量または生存(2)および死亡(1)を示す二値コード、 D_l は疾病の罹患を表すコード(非罹患(2)および罹患(1))である。

3. 結果と考察

(1) データ編集後のデータ数と罹患率

表 5-2 および表 5-3 には、データ編集の結果得られた各疾病形質の産次ごとの記録数および罹患率(%)をそれぞれ示した。各産次の記録数は初産で 240,350 から 328,690、2 産で 181,413 から 244,880、3 産で 146,991 から 170,799、4 産で 74,005 から 100,688 そして 5 産で 35,246 から 47,937 記録であり、いずれの形質においても北海道の記録が 90%以上を占めた。

産褥熱を除く疾病形質では初産の罹患率が低く、2 産から 5 産でより高くなる傾向にあった(表 5-3)。最も高い罹患率を示した形質は乳房炎であり(25.4 から 47.1%)、その罹患率は全産次で最も高かった。次に罹患率の高かった肢蹄病では、5.2 から 12.0%の範囲にあった。乳熱の罹患率は、初産では 1%に満たず罹患個体は殆ど存在しなかったが(0.4%)、5 産では 18.4%まで増加した。したがって、乳熱では初産のみならず後産次の記録も利用して分析を行うことが、その疾病の特徴を捉える上で望ま

表 5-2. データ編集の結果得られた初産から 5 産の疾病形質の記録数

形質	初産						2産					
	北海道	福島県	千葉県	鳥取県	熊本県	全体	北海道	福島県	千葉県	鳥取県	熊本県	全体
第四胃変位	303,393	1,137	5,962	7,812	7,859	326,163	228,079	923	4,693	5,714	6,010	245,419
子宮内膜炎	224,776	1,076	5,289	2,910	6,299	240,350	169,511	864	4,152	2,083	4,803	181,413
乳房炎	305,306	1,129	5,975	8,269	8,011	328,690	229,530	918	4,707	6,065	6,125	247,345
乳熱	304,224	774	5,579	6,971	7,753	325,301	228,782	621	4,417	5,145	5,915	244,880
胎盤停滞	267,869	833	4,268	4,002	6,739	283,711	201,364	673	3,323	2,803	5,184	213,347
産褥熱	300,918	1,096	5,681	6,657	7,716	322,068	226,339	894	4,478	4,915	5,901	242,527
ケトーシス	303,874	1,084	5,774	7,663	7,344	325,739	228,537	869	4,545	5,597	5,598	245,146
肢蹄病	304,459	1,020	5,943	8,135	7,828	327,385	228,907	827	4,678	5,942	5,982	246,336

形質	3産						4産					
	北海道	福島県	千葉県	鳥取県	熊本県	全体	北海道	福島県	千葉県	鳥取県	熊本県	全体
第四胃変位	158,644	587	3,133	3,462	3,603	169,429	94,177	274	1,744	1,735	1,850	99,780
子宮内膜炎	117,603	558	2,752	1,230	2,868	125,011	70,118	265	1,554	619	1,449	74,005
乳房炎	159,707	587	3,137	3,705	3,663	170,799	94,938	274	1,749	1,861	1,866	100,688
乳熱	159,194	396	2,975	3,180	3,508	169,253	94,632	176	1,663	1,640	1,767	99,878
胎盤停滞	139,569	424	2,209	1,640	3,149	146,991	82,600	196	1,207	827	1,663	86,493
産褥熱	157,404	570	2,992	2,983	3,541	167,490	93,450	265	1,673	1,506	1,797	98,691
ケトーシス	158,966	558	3,032	3,385	3,298	169,239	94,453	265	1,696	1,694	1,677	99,785
肢蹄病	159,248	516	3,114	3,613	3,570	170,061	94,641	237	1,741	1,805	1,828	100,252

形質	5産					
	北海道	福島県	千葉県	鳥取県	熊本県	全体
第四胃変位	45,087	136	769	746	731	47,469
子宮内膜炎	33,612	133	696	249	556	35,246
乳房炎	45,511	136	769	786	735	47,937
乳熱	45,353	90	740	712	676	47,571
胎盤停滞	39,418	103	525	378	687	41,111
産褥熱	44,737	134	744	649	711	46,975
ケトーシス	45,239	133	753	719	671	47,515
肢蹄病	45,362	111	766	767	725	47,731

しいと考えられる。また、その他の疾病についても、複数産次の記録を利用し遺伝解析を進めていく必要があるだろう。

疾病形質によっては、地域間で罹患率が相違するものがあった。例えば、初産の乳房炎では北海道、千葉県および熊本県の3地域で高い罹患率を示したのに対して(20.3 から 26.2%)、福島県と鳥取県では低かった(12.8%、7.4%)。さらに、千葉県や鳥取県における子宮内膜炎の罹患率は、いずれの産次でも他の3地域に比べてやや高い傾向があった。地域間の罹患率の相違は様々な要因で生じていると考えられるが、各地域の飼養環境の違い(例えば、暑熱)がその一因であると推測される。また、獣医師による診断方法が地域間で少しずつ異なる可能性もある。

表 5-3.初産から5産の疾病形質の罹患率(%)

形質	初産						2産					
	北海道	福島県	千葉県	鳥取県	熊本県	全体	北海道	福島県	千葉県	鳥取県	熊本県	全体
第四胃変位	2.7	2.5	3.0	1.0	3.1	2.7	3.7	4.3	4.8	1.6	3.3	3.7
子宮内膜炎	1.3	4.6	6.4	0.7	3.4	1.4	1.5	6.3	8.6	1.2	3.6	1.8
乳房炎	26.2	12.8	22.3	7.4	20.3	25.4	38.6	18.6	28.8	13.7	31.0	37.5
乳熱	0.3	0.4	0.7	1.6	0.7	0.4	4.4	2.4	3.9	6.3	3.2	4.4
胎盤停滞	0.6	0.8	1.1	0.8	2.8	0.7	1.3	2.2	1.9	2.4	3.4	1.4
産褥熱	3.4	1.7	2.4	2.3	3.8	3.4	3.4	2.6	2.4	3.0	3.7	3.4
ケトーシス	2.4	5.1	3.7	2.0	5.2	2.5	3.3	5.9	3.8	2.6	6.7	3.4
肢蹄病	5.3	3.3	3.8	2.1	7.9	5.2	7.0	5.3	5.8	2.8	9.7	6.9

形質	3産						4産					
	北海道	福島県	千葉県	鳥取県	熊本県	全体	北海道	福島県	千葉県	鳥取県	熊本県	全体
第四胃変位	5.3	5.5	6.4	2.4	4.6	5.3	4.9	8.4	5.4	2.5	3.9	4.9
子宮内膜炎	1.5	6.3	10.2	2.0	4.0	1.8	1.5	6.0	13.1	2.6	5.9	1.8
乳房炎	43.6	23.3	34.7	16.2	36.2	42.6	46.2	21.5	37.9	20.4	37.4	45.3
乳熱	8.8	5.1	8.9	10.6	6.2	8.7	14.2	4.0	13.3	13.3	8.1	14.0
胎盤停滞	1.3	2.1	2.0	2.5	3.9	1.3	1.2	1.0	2.0	3.0	3.5	1.3
産褥熱	3.1	2.1	2.7	2.8	3.4	3.1	3.0	3.8	2.3	4.4	2.7	3.0
ケトーシス	4.4	7.9	5.7	4.0	7.8	4.5	4.8	9.1	6.0	4.0	7.8	4.8
肢蹄病	8.8	4.7	7.9	4.1	12.5	8.8	10.5	2.5	9.5	4.8	15.5	10.4

形質	5産					
	北海道	福島県	千葉県	鳥取県	熊本県	全体
第四胃変位	3.8	3.7	4.7	2.0	2.5	3.7
子宮内膜炎	1.6	6.8	16.5	1.6	4.1	1.9
乳房炎	47.9	22.1	39.5	23.4	35.1	47.1
乳熱	18.6	1.1	19.2	15.3	13.9	18.4
胎盤停滞	1.1	0.0	4.0	4.2	2.5	1.2
産褥熱	2.8	1.5	2.3	4.5	1.5	2.8
ケトーシス	4.7	6.0	5.8	4.9	7.9	4.8
肢蹄病	12.0	9.9	13.7	5.9	18.3	12.0

(2) 疾病形質に対する影響要因

表 5-4 には、疾病形質に対する分散分析の結果を示した。牛群・分娩年の効果は、水準数が高いため、分散分析を行う際には吸収(absorption)した。そのため、牛群・分娩年では TYPE-I の平方和、その他

表 5-4. 疾病形質に対する分散分析の結果

形質	産次	牛群	分娩年	分娩時月 齢クラス	分娩季節	決定係数 (%)
第四胃変位	初産	**	**	**	**	1.7
	2産	**	**	**	**	1.9
	3産	**	**	**	**	2.3
子宮内膜炎	初産	**	**		**	5.7
	2産	**	**		**	6.4
	3産	**	**	**		6.9
乳房炎	初産	**	**	**	**	9.8
	2産	**	**	**	**	10.9
	3産	**	**		**	11.1
乳熱	初産	**	**			3.1
	2産	**	**	**	**	9.1
	3産	**	**	**	**	9.1
胎盤停滞	初産	**	**	**		1.4
	2産	**	**	*	**	1.9
	3産	**	**		*	2.1
産褥熱	初産	**	**	**	**	5.5
	2産	**	**		**	3.2
	3産	**	**		**	2.7
ケトーシス	初産	**	**	**	**	3.5
	2産	**	**	**	**	3.1
	3産	**	**	**	**	3.3
肢蹄病	初産	**	**	**	**	6.2
	2産	**	**	**	**	8.0
	3産	**	**	**		9.4

** $P < 0.001$; * $P < 0.01$

の効果については TYPE-III の平方和に基づく有意水準を表 5-4 に示している点に注意されたい。牛群・分娩年は初産から 3 産の全ての形質において有意であり、国内で遺伝評価が実施されている形質と同様に重要な効果であることが明らかとなった。地域・分娩年月の効果は、3 産の産褥熱と 2 産および 3 産の肢蹄病を除いて有意であった。肢蹄病は本分析で対象としている周産期病などの疾病と異なり、分娩直後に限らず乳期中のどのタイミングでも発症する可能性がある。そのため、分娩年月による影響が小さかったと考えられる。分娩時月齢クラスの効果は、初産では乳熱を除く形質で有意差が認められた。初産の乳熱は罹患率が極めて低いため、明確な差異を観測できなかった可能性がある。一方、3 産の結果では乳房炎、胎盤停滞および産褥熱に対して分娩時月齢クラスの有意性が認められなかった。したがって、一部の疾病では、産次を重ねて加齢になるに伴って月齢間の罹患リスクの差が小さくなる可能性が示唆された。産褥熱には難産がリスク要因と知られているが、難産の発生は初産よりも経産牛で低

くなるため、後産次で分娩月齢の影響が小さかったと考えられる。胎盤停滞も難産の影響を受けることから、同様の理由で3産の分娩月齢に有意差が認められなかった可能性がある。

図 5-1、図 5-2 および図 5-3 には、疾病形質に対する分娩年、分娩季節、分娩時月齢クラスの解の推定値をそれぞれ示した。分娩年における年次間の変動は、初産で小さく、2産および3産でより大きくなる傾向があった。しかしながら、明確な増加または減少を示した形質はいずれの産次でも認められなかった。乳房炎および肢蹄病では分娩年が2004年から2006年および2021年から2022年において高い正の推定値が示されたが、これには分析に利用したデータの影響により生じたと考えられる。これらの年次の記録はその他の年次よりも少なく、乳房炎および肢蹄病の罹患率が低かった。

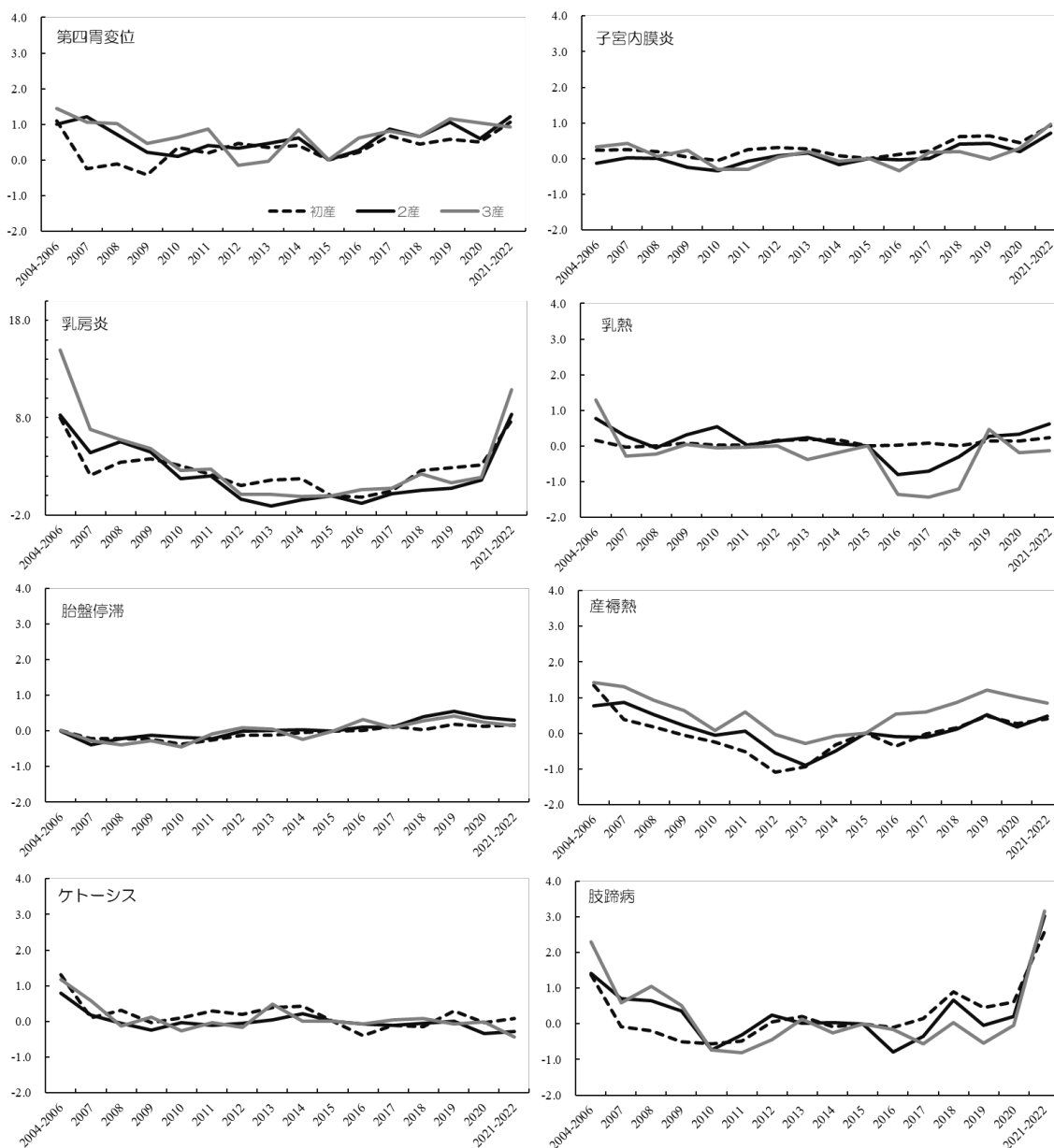


図 5-1.各疾病形質に対する分娩年の解の推定値(%、2015年をゼロとした時の相対値)

分娩季節に対して、初産は2産および3産に比べて水準間の変動が全体的に小さかったが、各産次と

も同様の傾向を示した。分娩時期に対する顕著な傾向は第四胃変位、乳房炎、ケトーシスに認められ、春から夏(3から8月)よりも秋(9から11月)に分娩するとそれらの疾病の罹患リスクが低くなる結果が得られた。この現象が生じた理由として、周産期病および乳房炎の罹患率が高い泌乳初期から中期にかけて暑熱ストレスの影響を受けなかったことが一要因として考えられる。また、乳房炎では秋(9から11月)分娩した個体の罹患リスクが特に低かったが、大腸菌乳房炎が頻発する夏場の搾乳を回避したことも大いに影響していると推察される。2産および3産の乳熱では、6から11月の期間で分娩すると罹患リスクが低くなる結果が得られた。

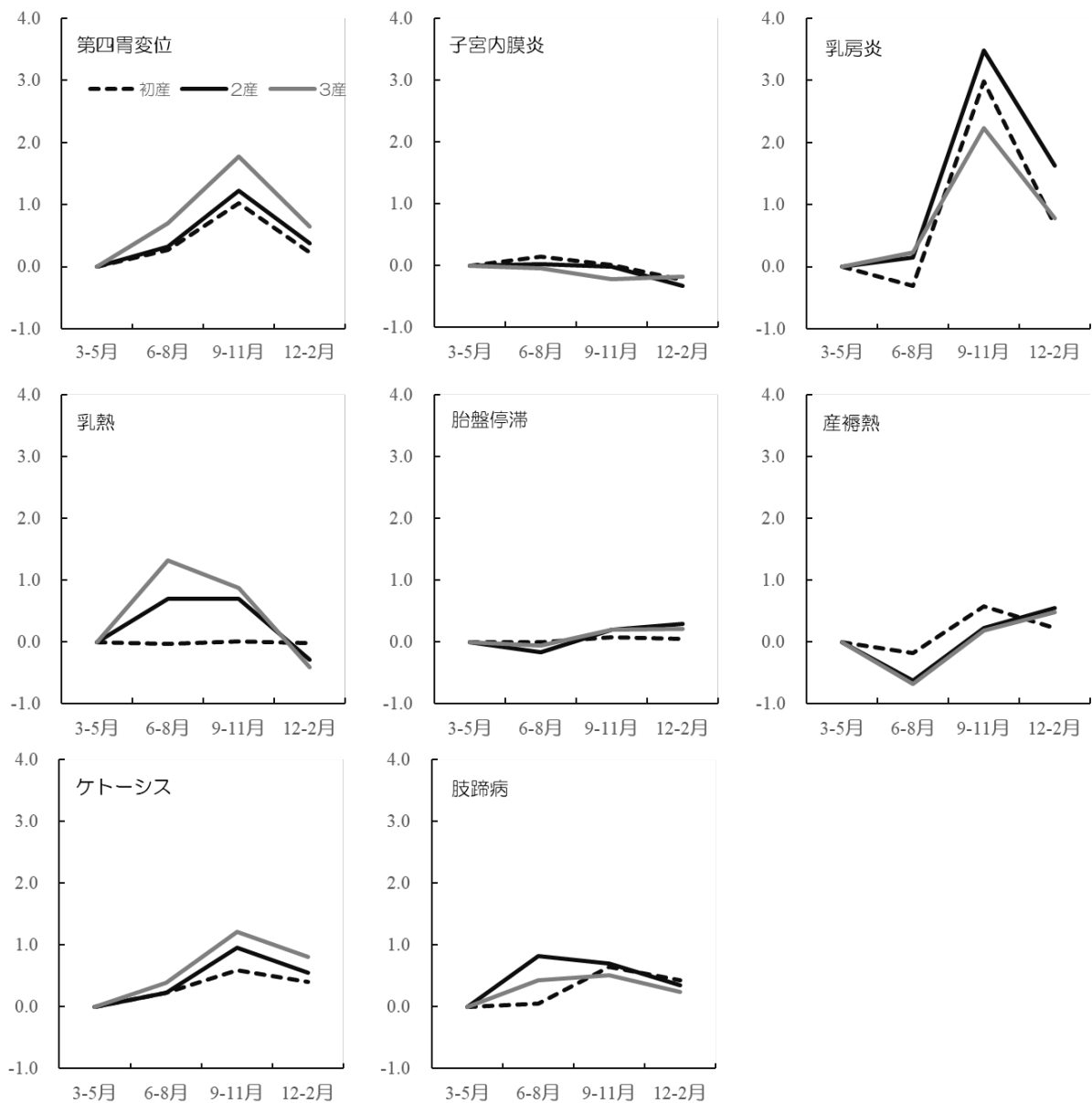


図 5-2.各疾病形質に対する分娩月の解の推定値(%、3-5 月をゼロとした時の相対値)

前述したように、分娩時月齢クラスの効果は産次によって有意差が存在しない形質(産褥熱や胎盤停滞など)があったが、多くの形質では分娩月齢が遅くなるほど罹患リスクが高くなる傾向が示された。したがって、各疾病の罹患を抑制する点では、分娩時月齢の早期化は有効な手段になると考えられる。

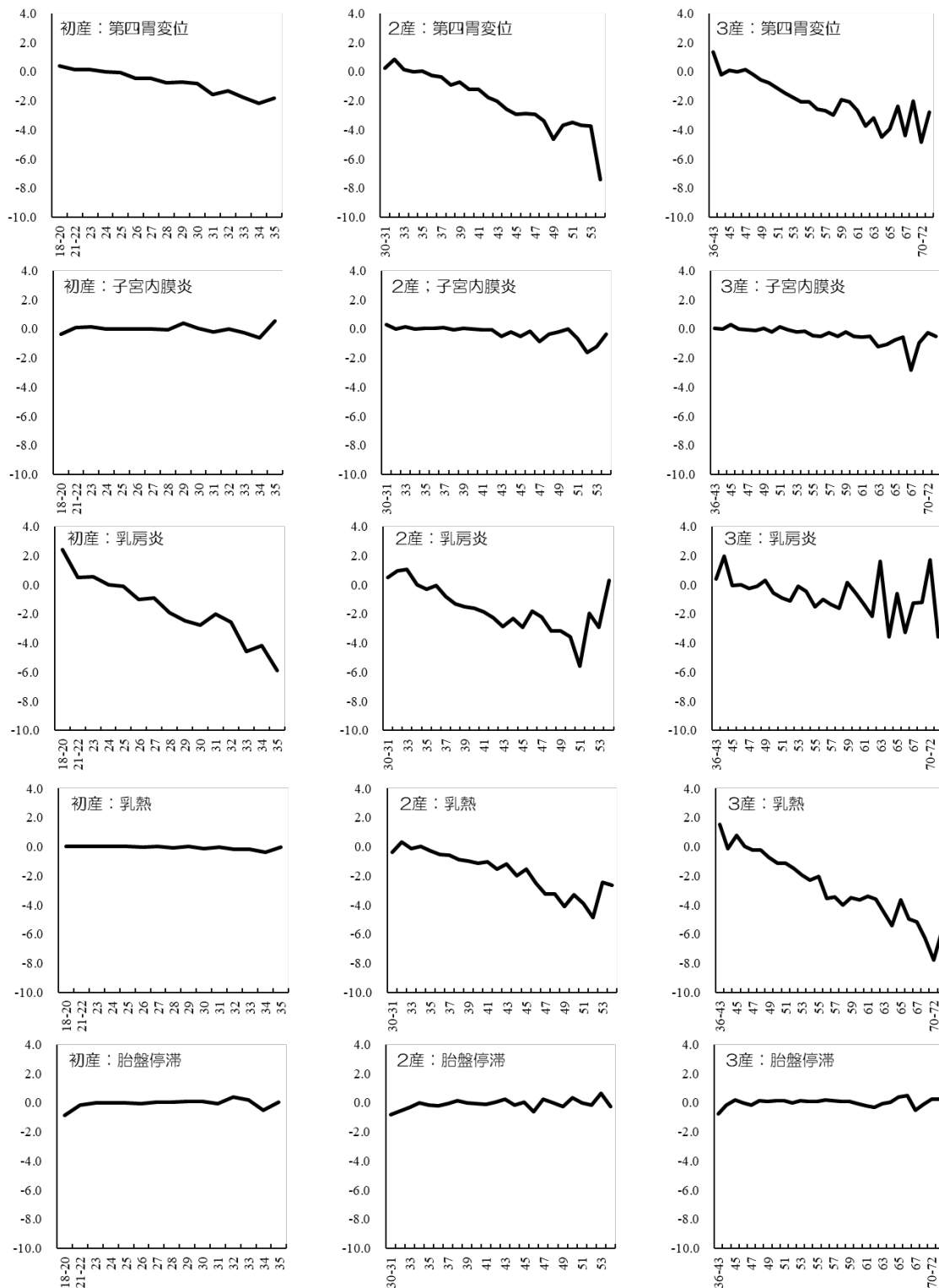


図 5-3A.各疾病形質に対する分娩季節の解の推定値(%、初産 24 ヶ月齢, 2 産 34 ヶ月齢, 3 産 46 ヶ月齢をゼロとした時の相対値)

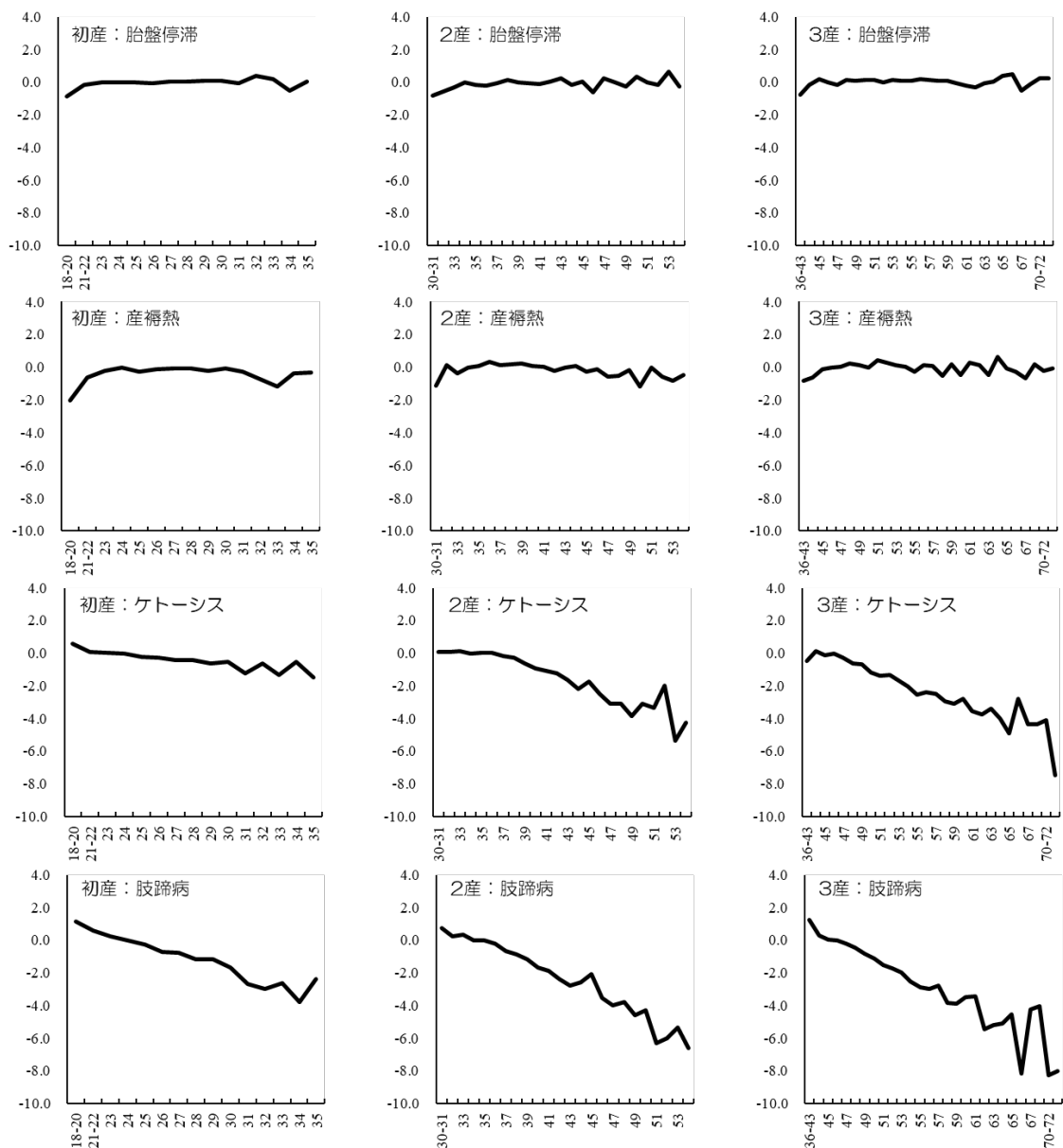


図 5-3B.各疾病形質に対する分娩季節の解の推定値(%、初産 24 ヶ月齢, 2 産 34 ヶ月齢, 3 産 46 ヶ月齢をゼ口とした時の相対値)

(3) 乳量および生存率に対する疾病の影響

表 5-5 には、乳量および生存率の分析に利用したデータの概要を示した。生存率の分析に利用した 2 産および 3 産の記録数は乳量のそれらに比べて顕著に多かったが、この理由として乳量の分析では泌乳初期や中期の段階で牛群から淘汰された個体の記録が分析データから除外されたためである。除外された個体の中には疾病を原因とするものが多く含まれることから、生存率の分析データから求めた罹患率は乳量の分析データから求めた数値よりも高い傾向にあったと推察される。

図 5-4 および図 5-5 には、乳量および生存率に対して疾病の効果を示した。第四胃変位、乳房炎、胎盤停滞、産褥熱、ケトーシスまたは肢蹄病を罹患した個体は、罹患しなかったものと比較して乳量の減少が認められた。したがって、これらの疾病は泌乳成績に大いに影響し、酪農家の経済的損失をもたらすことが示唆された。一方、子宮内膜炎では全ての産次で有意に乳量が増加する結果が観測された。高

泌乳牛は乳生産に多くのエネルギーを消費するために負のエネルギーバランスに陥り、繁殖性の低下が生じると言われている。子宮内膜炎の結果は、その現象に起因すると考えられる。また、乳熱では2産のみにおいて有意差が認められ、罹患個体ほど乳量が増加した。乳熱は血中カルシウム濃度が低下することで生じる周産期病であるが、高泌乳牛ほど牛乳を介して排出されるカルシウムが増加し罹患リスクも高くなると考えられる。そのために、乳熱を罹患した個体は乳量がわずかに高かったものと推察される。

表 5-5. 乳量および生存率と疾病形質の間の分析に利用したデータの概要

形質	産次	乳量の分析データ			生存率の分析データ		
		個体数	罹患率(%)	乳量(kg)	個体数	罹患率(%)	産次内生存率(%)
第四胃変位	初産	304,181	2.5	8,634	300,626	2.8	82.6
	2産	181,855	3.1	10,145	222,976	3.7	70.5
	3産	114,749	4.3	10,552	152,963	5.4	62.2
子宮内膜炎	初産	223,488	1.4	8,669	222,927	1.3	82.6
	2産	132,792	1.7	10,204	166,198	1.5	70.4
	3産	83,220	1.8	10,629	113,963	1.5	62.0
乳房炎	初産	306,591	23.6	8,621	302,526	26.3	82.7
	2産	183,440	31.4	10,128	224,375	38.7	70.6
	3産	115,838	35.9	10,532	153,986	43.7	62.3
乳熱	初産	303,319	0.3	8,623	301,476	0.3	82.7
	2産	181,214	4.0	10,134	223,668	4.4	70.6
	3産	114,488	8.2	10,540	153,535	8.8	62.3
胎盤停滞	初産	264,734	0.6	8,949	265,583	0.6	82.6
	2産	156,592	1.3	10,154	197,147	1.3	70.2
	3産	98,343	1.3	10,564	134,859	1.3	61.8
産褥熱	初産	300,278	3.2	8,637	298,191	3.4	82.7
	2産	179,454	2.9	10,150	221,313	3.4	70.5
	3産	113,243	2.8	10,556	151,839	3.1	62.2
ケトーシス	初産	303,740	2.4	8,631	301,098	2.5	82.7
	2産	181,482	3.0	10,142	223,407	3.3	70.5
	3産	114,525	4.0	10,546	153,269	4.5	62.2
肢蹄病	初産	305,347	4.9	8,624	301,686	5.3	82.7
	2産	182,591	5.9	10,133	223,781	7.0	70.6
	3産	115,229	7.6	10,537	153,558	8.8	62.3

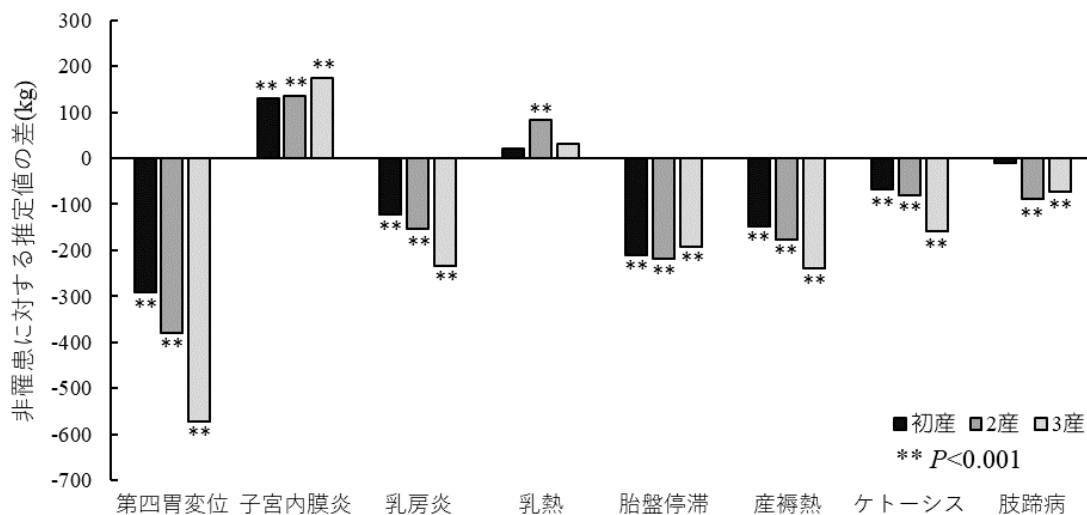


図 5-4.乳量に対する各疾病の罹患による効果(非罹患をゼロとしたときの相対値).

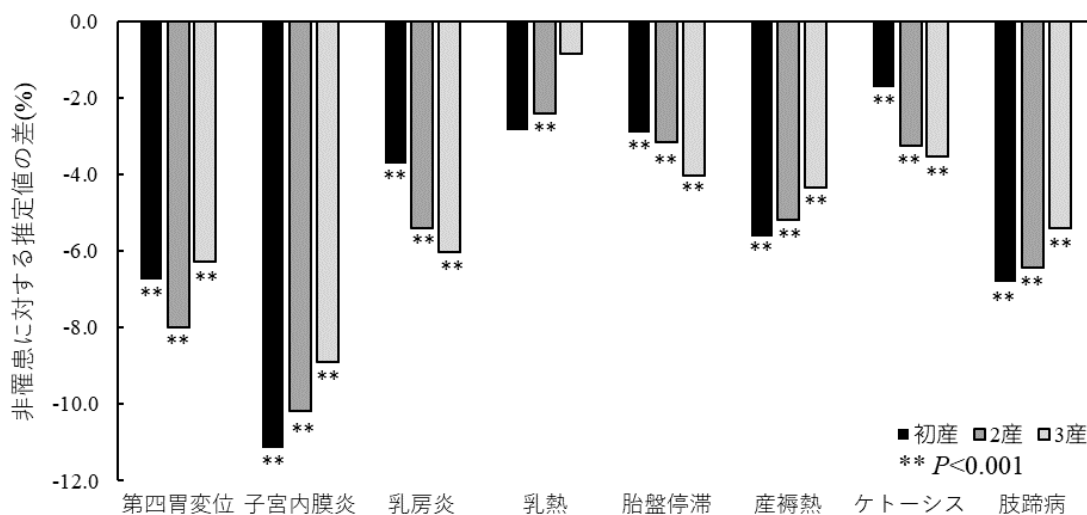


図 5-5.生存率に対する各疾病の罹患による効果(非罹患をゼロとした時の相対値)

生存率に対しては、全ての疾病で罹患した個体の生存性の低下が認められた。したがって、本分析で対象とした疾病形質は早期淘汰のリスク要因であり、生産現場の経済的損失になっていると考えられる。特に顕著な推定値の差を示した形質は子宮内膜炎であり、初産から3産の全産次で最も高い値を示した。牛群検定記録による除籍理由においても繁殖障害は牛群から淘汰される主要因の一つであるが、診療データからも同様の結果が得られた。子宮内膜炎を発症した雌牛は空胎日数が延長し受胎成績が悪化することから、酪農家が早期に淘汰を決断している可能性がある。

4. 結論

本章では、疾病データの編集を実施し表型的分析を実施した。本分析で取り上げた8つの疾病形質は、罹患率に大きな相違があるが、いずれも雌牛の生存性に影響を与えていることが示された。それゆえ、

これらの疾病の育種改良が可能となれば本事業の主目的である長命連産性の向上の達成に寄与すると考えられることから、遺伝評価のための検討が適切と推察された。

影響要因の調査の結果、分娩年次や月齢の影響が小さい形質も存在した。遺伝評価を実施する際には形質により考慮する効果を変更することもできるが、初産から3産を通して効果が認められなかった形質は存在しなかったため、少なくとも複数産次のデータを利用した遺伝評価には前述の分散分析で考慮した効果を含めるべきだろう。

参考文献

- 阿部隼人ら. 2021. 北海道網走地区のホルスタイン集団における疾病記録の遺伝分析. 日本畜産学会第128回大会 P2-17.
- Gaddis KLP., et al. 2014. Genomic selection for producer-recorded health event data in US dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 97(5):3190-3199.

第6章 疾病形質の遺伝率の推定

1. はじめに

耐病性の育種改良を実施する上で疾病形質の遺伝率は重要な情報であるが、全国規模の農家の疾病データを利用した研究事例がないことから推定する必要がある。前章の結果から、多くの疾病の罹患率は後産次ほど高くなる傾向が認められたことから、初産のみならず2産以降の記録も利用して遺伝解析を行うことが適切と考えられた。疾病形質の遺伝評価を先行して実施している諸外国をみても、2産以降の記録も利用している国が多い。

そこで本章では、①疾病形質の遺伝率、②疾病形質間の遺伝相関、さらには③産次間の遺伝相関を推定し疾病形質の遺伝的特性を把握することを目的とした。

2. 分析方法

(1) 疾病形質の遺伝率の推定

前章に記した8疾病形質の初産から5産のデータを利用した。表6-1には産次ごとの疾病形質に関する遺伝的パラメータの推定に利用した分析データの概要を示した。遺伝的パラメータは単形質の線形アニマルモデルで推定した。そのモデル式を以下に示した。

$$y_{ijklm} = hy_i + BYM_j + AGE_k + a_l + e_{ijklm}$$

ここで、 y_{ijklm} は分娩後305日以内における各疾病の罹患を示す二値コード(1:未発症、0:発症)、 hy_i は牛群・分娩年の変量効果、 BYM_j は地域・分娩年月の母数効果、 AGE_k は分娩時月齢クラスの母数効果、 a_l は相対的遺伝の変量効果、 e_{ijklm} は残差である。分娩時月齢クラスの水準数は、初産で15クラス、2産で25クラス、3産で28クラス、4産で24クラス、5産で22クラスであった。血縁は記録を有する雌牛から3世代まで遡及した。

さらに、初産から5産のデータに初産時の記録を有することを条件にデータ編集を行い、複数産次記録を用いて遺伝的パラメータの推定を同様に行った。データ編集後の記録を有する個体数は、184,446から251,371頭の範囲にあり、1頭あたりの平均記録数はいずれの形質でも2.6記録であった(表6-2)。分析は以下に示した反復記録アニマルモデルで行った。

$$y_{ijklm} = hy_i + BYM_j + PAGE_k + a_l + pe_m + e_{ijklmn}$$

ここで、 $PAGE_k$ は産次×分娩時月齢クラスの母数効果、 pe_m は永続的環境効果の変量効果であり、その他の効果は上記モデルと同様である。

(2) 異なる産次の同一疾病形質間の遺伝相関の推定

次に、初産から5産における同一疾病形質間の遺伝相関を表6-2に示したデータを利用して推定した。前述したとおり、分析に利用したデータは初産時の記録を必ず有し2産以降には少なくとも一つの産次に記録があれば採用しているため、2産以降の記録に欠測が存在するデータ構造になっている。遺伝的パラメータの推定は初産から5産の多形質線形アニマルモデルで行い、産次ごとの単形質アニマルモデルに含めたものと同様の効果を考慮した。

(3) 産次内の疾病形質間の遺伝相関の推定

初産および2産について疾病形質間の遺伝相関をそれぞれ推定した。この分析には、8疾病形質の全てについて複数年で疾病の罹患が確認できた牛群の記録を利用した。そのデータ編集の結果、初産およ

び2産で455牛群の211,911頭および159,953頭の記録が抽出された。遺伝的パラメータの推定は、8形質の多形質線形アニマルモデルを利用し、産次ごとの単形質アニマルモデルと同様の効果を影響要因として考慮した。

表 6-1. 各産次の疾病形質に関する遺伝的パラメータの推定に利用したデータの水準数

形質	項目	初産	2産	3産	4産	5産
第四胃変位	記録をもつ個体数	326,163	245,419	169,429	99,780	47,469
	牛群数	856	856	855	852	846
	総血縁個体数	508,521	422,273	327,819	228,266	133,034
	罹患率(%)	2.7	3.7	5.3	4.9	3.7
子宮内膜炎	記録をもつ個体数	240,350	181,413	125,011	74,005	35,246
	牛群数	571	571	571	569	566
	総血縁個体数	375,404	312,097	242,543	170,308	99,942
	罹患率(%)	1.4	1.8	1.8	1.8	1.9
乳房炎	記録をもつ個体数	328,690	247,345	170,799	100,688	47,937
	牛群数	884	885	885	881	870
	総血縁個体数	512,960	426,027	330,731	230,420	134,332
	罹患率(%)	25.4	37.5	42.6	45.3	47.1
乳熱	記録をもつ個体数	325,301	244,880	169,253	99,878	47,571
	牛群数	860	860	860	857	847
	総血縁個体数	507,354	421,394	327,354	228,323	133,228
	罹患率(%)	0.4	4.4	8.7	14.0	18.4
胎盤停滞	記録をもつ個体数	283,711	213,347	146,991	86,493	41,111
	牛群数	692	692	692	690	685
	総血縁個体数	440,775	365,195	283,526	198,319	116,265
	罹患率(%)	0.7	1.4	1.3	1.3	1.2
産褥熱	記録をもつ個体数	322,068	242,527	167,490	98,691	46,975
	牛群数	836	836	836	834	827
	総血縁個体数	502,217	417,282	323,912	225,722	131,649
	罹患率(%)	3.4	3.4	3.1	3.0	2.8
ケトーシス	記録をもつ個体数	325,739	245,146	169,239	99,785	47,515
	牛群数	858	858	857	854	847
	総血縁個体数	508,225	422,141	327,653	228,308	133,160
	罹患率(%)	2.5	3.4	4.5	4.8	4.8
肢蹄病	記録をもつ個体数	327,385	246,336	170,061	100,252	47,731
	牛群数	868	869	869	865	865
	総血縁個体数	510,856	424,196	329,209	229,380	133,750
	罹患率(%)	5.2	6.9	8.8	10.4	12.0

表 6-2. 初産から 5 産における同一疾病形質間の遺伝的パラメータの推定に利用したデータの概要

形質	項目		形質	項目	
第四胃変位	個体数	249,448	胎盤停滞	記録をもつ個体数	217,247
	一頭あたりの記録数	2.6		一頭あたりの記録数	2.6
	牛群数	856		牛群数	692
	総血縁個体数	508,521		総血縁個体数	440,775
子宮内膜炎	記録をもつ個体数	184,446	産褥熱	記録をもつ個体数	246,536
	一頭あたりの記録数	2.6		一頭あたりの記録数	2.6
	牛群数	571		牛群数	836
	総血縁個体数	375,404		総血縁個体数	502,217
乳房炎	記録をもつ個体数	251,371	ケトーシス	記録をもつ個体数	249,146
	一頭あたりの記録数	2.6		一頭あたりの記録数	2.6
	牛群数	884		牛群数	858
	総血縁個体数	512,960		総血縁個体数	508,225
乳熱	記録をもつ個体数	248,945	肢蹄病	記録をもつ個体数	250,362
	一頭あたりの記録数	2.6		一頭あたりの記録数	2.6
	牛群数	860		牛群数	868
	総血縁個体数	507,354		総血縁個体数	510,856

遺伝的パラメータの推定には、ギブスサンプリング法を実装した GIBBS1F90 または GIBBS2F90 プログラムで行った(Misztal ら 2002)。いずれの推定においても、反復回数および burn-in は 10 万回および 5 万回とそれぞれ設定し、残りの 5 万サンプルから 10 反復毎に得た 5 千サンプルに基づき各分散の事後平均値を算出した。

3. 結果と考察

(1) 遺伝率

表 6-3 には、単形質の線形アニマルモデルを用いて得られた産次ごとの遺伝的パラメータの推定結果を示した。各産次の遺伝率は、初産で 0.001 から 0.075、2 産で 0.002 から 0.076、3 産で 0.002 から 0.081、4 産で 0.002 から 0.061 ならびに 5 産で 0.001 から 0.051%の範囲にそれぞれあり、いずれの産次でも 0.10 以下の低い値が推定された。その中で比較的高い遺伝率を示した形質は、第四胃変位(0.005 から 0.075)と乳房炎(0.043 から 0.081)であった。子宮内膜炎、胎盤停滞および産褥熱の遺伝率は産次を通して 0.01 以下と低かった。

複数産次記録を利用した反復記録アニマルモデルによる遺伝率は 0.002 から 0.071 の範囲で推定され、多くの疾病形質で各産次の推定遺伝率と同程度の値であった(表 6-4)。しかしながら、第四胃変位の遺伝率(0.012)は産次ごとの推定値よりも低かった。疾病形質の反復率は 0.022 から 0.111 にあり、いずれの形質においても遺伝率と同様に低い値であった。

国内ではホルスタイン集団の疾病形質の遺伝解析は十分に行われていないが、数例の報告がある。阿部ら(2021)は、北海道の網走地区のホルスタイン集団の疾病データを利用して遺伝解析を行い、第四胃

表 6-3. 産次ごとの単形質アニマルモデルによる疾病形質に関する遺伝的パラメータの推定結果

形質	産次	牛群	相加的遺伝	残差	遺伝率 (SD ¹)	形質	産次	牛群	相加的遺伝	残差	遺伝率 (SD ¹)
第四胃変位	初産	5.46.E-04	1.99.E-03	2.40.E-02	0.075 (0.084)	胎盤停滞	初産	1.71.E-04	2.46.E-05	6.43.E-03	0.004 (0.114)
	2産	5.41.E-04	1.69.E-03	3.33.E-02	0.048 (0.081)		2産	4.59.E-04	1.05.E-04	1.33.E-02	0.008 (0.137)
	3産	9.33.E-04	2.07.E-03	4.69.E-02	0.042 (0.104)		3産	4.39.E-04	6.27.E-05	1.29.E-02	0.005 (0.181)
	4産	8.32.E-04	1.19.E-03	4.46.E-02	0.025 (0.149)		4産	4.87.E-04	5.20.E-05	1.24.E-02	0.004 (0.244)
	5産	4.60.E-04	1.95.E-04	3.51.E-02	0.005 (0.253)		5産	5.04.E-04	1.59.E-05	1.11.E-02	0.001 (0.434)
子宮内膜炎	初産	2.27.E-03	4.80.E-05	1.24.E-02	0.003 (0.266)	産褥熱	初産	1.34.E-03	2.84.E-04	2.97.E-02	0.009 (0.091)
	2産	2.72.E-03	2.84.E-05	1.50.E-02	0.002 (0.283)		2産	9.12.E-04	2.85.E-04	3.13.E-02	0.009 (0.086)
	3産	2.89.E-03	4.08.E-05	1.51.E-02	0.002 (0.345)		3産	7.45.E-04	2.80.E-04	2.89.E-02	0.009 (0.100)
	4産	2.85.E-03	3.84.E-05	1.56.E-02	0.002 (0.421)		4産	6.31.E-04	1.88.E-04	2.85.E-02	0.006 (0.133)
	5産	2.96.E-03	8.96.E-05	1.62.E-02	0.005 (0.600)		5産	6.01.E-04	1.66.E-04	2.63.E-02	0.006 (0.243)
乳房炎	初産	2.59.E-02	8.20.E-03	1.56.E-01	0.043 (0.211)	ケトーシス	初産	2.04.E-03	1.51.E-04	2.28.E-02	0.006 (0.166)
	2産	3.33.E-02	1.80.E-02	1.85.E-01	0.076 (0.230)		2産	1.79.E-03	1.43.E-04	3.05.E-02	0.004 (0.144)
	3産	3.29.E-02	1.99.E-02	1.93.E-01	0.081 (0.255)		3産	2.23.E-03	4.09.E-04	4.06.E-02	0.009 (0.168)
	4産	3.12.E-02	1.52.E-02	2.02.E-01	0.061 (0.314)		4産	2.25.E-03	4.57.E-04	4.33.E-02	0.010 (0.227)
	5産	2.95.E-02	1.27.E-02	2.07.E-01	0.051 (0.438)		5産	1.94.E-03	3.37.E-04	4.33.E-02	0.007 (0.344)
乳熱	初産	2.84.E-04	3.88.E-06	3.39.E-03	0.001 (0.164)	肢蹄病	初産	4.82.E-03	5.76.E-04	4.41.E-02	0.012 (0.164)
	2産	5.65.E-03	3.04.E-04	3.61.E-02	0.007 (0.224)		2産	6.94.E-03	1.01.E-03	5.62.E-02	0.016 (0.187)
	3産	1.03.E-02	1.32.E-03	6.82.E-02	0.017 (0.251)		3産	9.37.E-03	1.45.E-03	6.85.E-02	0.018 (0.226)
	4産	1.55.E-02	3.12.E-03	1.01.E-01	0.026 (0.308)		4産	1.31.E-02	1.80.E-03	7.79.E-02	0.019 (0.302)
	5産	1.83.E-02	5.61.E-03	1.25.E-01	0.038 (0.445)		5産	1.52.E-02	1.73.E-03	8.78.E-02	0.017 (0.436)

¹×10²

表 6-4. 複数産次の反復記録アニマルモデルによる疾病形質に関する遺伝的パラメータの推定結果

形質	牛群	相加的遺伝	恒久的環境	残差	遺伝率 (SD ¹)	反復率 (SD ¹)
第四胃変位	3.90.E-04	4.44.E-04	2.51.E-06	3.53.E-02	0.012 (0.052)	0.012 (0.052)
子宮内膜炎	2.04.E-03	2.62.E-05	3.31.E-04	1.39.E-02	0.002 (0.027)	0.022 (0.111)
乳房炎	2.39.E-02	1.57.E-02	8.93.E-03	1.74.E-01	0.071 (0.214)	0.111 (0.138)
乳熱	3.66.E-03	5.07.E-04	8.26.E-04	4.75.E-02	0.010 (0.087)	0.025 (0.084)
胎盤停滞	2.75.E-04	6.31.E-05	1.10.E-04	1.07.E-02	0.006 (0.075)	0.016 (0.115)
産褥熱	6.15.E-04	2.58.E-04	2.64.E-04	2.93.E-02	0.008 (0.059)	0.017 (0.126)
ケトーシス	1.51.E-03	2.25.E-04	6.49.E-04	3.19.E-02	0.007 (0.058)	0.025 (0.099)
肢蹄病	6.57.E-03	1.41.E-03	2.48.E-03	5.65.E-02	0.021 (0.126)	0.058 (0.112)

¹ × 10²

変位、ケトーシス、乳熱(低カルシウム血症)および乳房炎の遺伝率を 10%未滿と報告した。Yamaguchi ら (2019)は、牛群検定に含まれる乳房炎コードを利用して初産および 2 産の遺伝率をそれぞれ 0.03 および 0.05 と推定した。また、Hagiya ら(2014)は初産牛の牛群検定データを利用して泌乳ステージごとの乳房炎および肢蹄の故障に関する遺伝率を推定し、その推定値はそれぞれ 0.10 から 0.21 および 0.09 から 0.18 の範囲にあった。本推定値は Hagiya ら(2014)よりもやや低かったが、これには罹患率の相違が影響しているかもしれない。彼らは乳房炎の罹患率は 6.1%と報告しており、本分析で利用しているデータから得られた数値よりもかなり低かった。

諸外国では国内よりも先行して疾病形質の遺伝解析を進めており、多くの研究報告が存在する。しかしながら、産褥熱に関する遺伝率を調査した研究は見つけることができなかった。Pryce ら(2016)の総説によると、過去に線形モデルで推定した第四位変異、乳熱およびケトーシスの遺伝率は 0 から 0.08、0.01 から 0.08 ならびに 0.01 から 0.08 の範囲で報告されており、いずれも 0.10 未滿であった。Weller ら(2019)は子宮内膜炎の初産および 2 産の遺伝率をそれぞれ 0.8 および 0.07、Weber ら(2013)は線形モデルによる蹄底潰瘍や趾皮膚炎を含む肢蹄病の遺伝率を 0.02 と報告した。さらに、Hauggaard と Heringstad(2015)は、初産から 5 産の胎盤停滞の遺伝率を 0.06 から 0.09 を推定した。本分析で得られた疾病形質の遺伝率は、これらの結果と同様に低く妥当な範囲で推定されていると考えられた。

(2) 同一疾病形質の遺伝相関

表 6-5 には、産次にわたる同一疾病形質間の遺伝相関の推定結果を示した。乳房炎、ケトーシスならびに肢蹄病では、いずれの組み合わせにおいても 0.8 以上の高い遺伝相関が推定された。一方、第四胃変位、子宮内膜炎、胎盤停滞および産褥熱では、初産と 2 産から 5 産間の遺伝相関が 0.46 から 0.89 の範囲にあり、後産次になるほど相関は低くなる傾向があった。特に、初産と 4 産、5 産との間の遺伝相関は低かったが、これには 4 産あるいは 5 産の疾病データを有する個体が少なかったことが影響している可能性がある。将来的に遺伝評価を実施する際には、4 産および 5 産の疾病データを 3 産の記録とひとまとめにしたモデリングを検討すべきかもしれない。しかしながら、初産から 3 産の間の遺伝相関は 0.7 以上あるので、これらの形質は遺伝的に同一形質とみなしても問題ないと考えられる。過去の報告によると、Yamaguchi ら(2019)は初産と 2 産の乳房炎間の遺伝相関を 0.91 と推定した。Weller ら(2019)は、ケトーシス、子宮内膜炎および胎盤停滞に関する初産から 3 産の産次間の遺伝相関を 0.71 から 0.91、

表 6-5. 異なる産次における同一疾病形質間の遺伝相関の推定値¹

第四胃変位					胎盤停滞				
	2産	3産	4産	5産		2産	3産	4産	5産
初産	0.89 _{0.018}	0.77 _{0.028}	0.69 _{0.038}	0.60 _{0.063}	初産	0.88 _{0.017}	0.78 _{0.060}	0.73 _{0.055}	0.46 _{0.077}
2産		0.94 _{0.014}	0.82 _{0.041}	0.83 _{0.025}	2産		0.88 _{0.019}	0.90 _{0.039}	0.64 _{0.109}
3産			0.89 _{0.023}	0.88 _{0.025}	3産			0.79 _{0.040}	0.43 _{0.155}
4産				0.76 _{0.054}	4産				0.56 _{0.154}
子宮内膜炎					産褥熱				
	2産	3産	4産	5産		2産	3産	4産	5産
初産	0.82 _{0.05}	0.71 _{0.063}	0.82 _{0.044}	0.75 _{0.037}	初産	0.78 _{0.041}	0.71 _{0.035}	0.61 _{0.039}	0.54 _{0.048}
2産		0.84 _{0.040}	0.88 _{0.050}	0.66 _{0.058}	2産		0.95 _{0.026}	0.85 _{0.037}	0.80 _{0.042}
3産			0.88 _{0.027}	0.61 _{0.052}	3産			0.90 _{0.023}	0.80 _{0.034}
4産				0.57 _{0.073}	4産				0.87 _{0.042}
乳房炎					ケトーシス				
	2産	3産	4産	5産		2産	3産	4産	5産
初産	0.95 _{0.01}	0.92 _{0.010}	0.90 _{0.013}	0.90 _{0.012}	初産	0.93 _{0.016}	0.86 _{0.017}	0.86 _{0.026}	0.86 _{0.018}
2産		0.99 _{0.001}	0.98 _{0.003}	0.96 _{0.004}	2産		0.92 _{0.011}	0.93 _{0.011}	0.87 _{0.019}
3産			0.99 _{0.002}	0.98 _{0.002}	3産			0.91 _{0.011}	0.85 _{0.019}
4産				0.97 _{0.007}	4産				0.87 _{0.027}
乳熱					肢蹄病				
	2産	3産	4産	5産		2産	3産	4産	5産
初産	0.58 _{0.11}	0.55 _{0.079}	0.58 _{0.079}	0.60 _{0.054}	初産	0.97 _{0.005}	0.98 _{0.004}	0.97 _{0.007}	0.97 _{0.009}
2産		0.95 _{0.011}	0.90 _{0.024}	0.80 _{0.042}	2産		0.99 _{0.004}	0.98 _{0.003}	0.96 _{0.005}
3産			0.96 _{0.007}	0.90 _{0.016}	3産			0.98 _{0.004}	0.97 _{0.003}
4産				0.95 _{0.014}	4産				0.97 _{0.004}

¹下付きの数値は標準偏差

0.80 から 0.96、0.72 から 0.98 と報告しており、本結果はそれらの推定値と比較して子宮内膜炎でわずかに低かった(0.62~0.83)。また、Haugaard と Heringstad(2015)は、子宮内膜炎および胎盤停滞に関する初産から 5 産の遺伝相関を 0.68 から 0.87 および 0.83 から 0.96 とそれぞれ推定した。

乳熱では初産と 2 産以降の遺伝相関が 0.55 から 0.60 と低い一方で、2 産から 5 産間では 0.8 以上と高く、他の形質とは異なる傾向を示した。Heringstad ら(2005)は初産と 2 産、3 産の乳熱間の遺伝相関を 0.29 および 0.19 と推定し、乳熱は初産と後産次で別形質であることを示唆した。本分析で得られた初産と後産次の遺伝相関は彼らの結果よりも高かったものの、強い遺伝的関係は認められないことから別形質として扱うことが適切であるかもしれない。

表 6-6. 疾病形質間の遺伝相関の推定値 (上三角：初産、下三角：2産)^{1,2}

形質	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(1) 第四胃変位		0.35 0.082	0.09 0.039	0.40 0.060	-0.02 0.065	0.35 0.050	0.73 0.028	0.16 0.058
(2) 子宮内膜炎	-0.01 0.078		0.29 0.082	0.30 0.084	0.36 0.067	0.45 0.061	0.65 0.127	0.29 0.074
(3) 乳房炎	-0.12 0.053	-0.23 0.086		-0.18 0.066	0.00 0.097	-0.07 0.094	0.30 0.074	0.27 0.059
(4) 乳熱	0.18 0.085	-0.04 0.090	0.09 0.065		0.26 0.110	0.53 0.073	0.30 0.094	0.21 0.105
(5) 胎盤停滞	0.04 0.108	0.42 0.069	-0.04 0.070	0.15 0.084		0.64 0.038	0.02 0.081	0.23 0.118
(6) 産褥熱	0.22 0.079	0.50 0.084	-0.22 0.060	0.37 0.084	0.71 0.050		0.41 0.093	0.19 0.069
(7) ケトーシス	0.56 0.081	0.03 0.063	0.08 0.108	0.34 0.141	-0.12 0.084	0.03 0.085		0.15 0.087
(8) 肢蹄病	0.12 0.068	0.03 0.086	0.09 0.064	0.32 0.085	0.18 0.099	0.30 0.105	-0.09 0.155	

¹いずれも有意(P<0.001)

²下付きの数値は標準偏差

(3) 産次内の疾病形質間の遺伝相関

表 6-6 には、初産および 2 産内の疾病形質間の遺伝相関の推定結果を示した。初産および 2 産の遺伝相関は-0.18から0.73 および-0.23から0.71 の範囲にそれぞれあり、疾病形質の多くは正の関係にあった。したがって、耐病性を高める方向へ改良を進めることによって、罹患リスクが高まる形質はほとんどないと考えられた。初産において高い遺伝相関が認められた組み合わせは、第四胃変位とケトーシス(0.73)、子宮内膜炎とケトーシス(0.65)、胎盤停滞と産褥熱(0.64)であった。これらのうち、第四胃変位とケトーシス、胎盤停滞と産褥熱間には 2 産でも同様に高い遺伝相関(0.56 と 0.71)が推定されたが、子宮内膜炎とケトーシスでは無相関(0.03)であった。他の研究報告によると、Gaddis ら(2014)は初産および 2 産のケトーシスと子宮内膜炎間に有意差はないものの 0.22 の正の遺伝相関を推定している一方で、Weller ら(2019)は初産のそれらの形質間に 0.61 の高い遺伝相関を推定していた。本結果で得られたケトーシスと子宮内膜炎間の産次による遺伝相関の相違は、初産と 2 産における子宮内膜炎とケトーシスの各形質間の遺伝相関はともに高いので(表 6-5)、発症メカニズムが産次間で異なるというよりもデータ構造上の問題に起因している可能性がある。

4. 結論

以上の結果から、各産次の疾病形質の遺伝率は 0.10 未満と総じて低く、この結果は過去の研究報告と一致するものであった。産次間の遺伝相関は多くの形質で高かったが、そのような形質では複数産次の反復記録アニマルモデルを遺伝評価に採用することが望ましいと考えられる。反復記録アニマルモデルでは、複数産次の記録を利用するために記録数が増加し、推定育種価の信頼度の向上が期待できる。しかしながら、乳熱では初産と 2 産以降の遺伝相関が低かったことから、2 産以降のデータのみ遺伝評価に利用するなどの対応が必要になる可能性がある。これに対しては、推定育種価の安定性を検証した上で最終的な判断を実施することとした。

参考文献

阿部隼人ら. 2021. 北海道網走地区のホルスタイン集団における疾病記録の遺伝分析. 日本畜産学会第

128 回大会 P2-17.

- Gaddis KLP, et al. 2014. Genomic selection for producer-recorded health event data in US dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 97(5):3190-3199.
- Hagiya K., et al. 2014. Genetic correlations between production and disease traits during first lactation in Holstein cows. *Animal* 8(2):217-223.
- Haugaard K and Heringstad B. 2015. Genetic parameters for fertility-related disorders in Norwegian Red. *Journal of Dairy Science* 98(2):1321-1324.
- Heringstad B., et al. 2005. Genetic analysis of clinical mastitis, milk fever, ketosis, and retained placenta in three lactations of Norwegian red cows. *Journal of Dairy Science* 88(9):3273-3281.
- Misztal I., et al. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). *Proceedings of the 7th world congress on genetics applied to livestock production* Vol. 28. No. 07.
- Pryce JE., et al. 2016. Invited review: Opportunities for genetic improvement of metabolic diseases. *Journal of Dairy Science* 99(9):6855-6873.
- Weber A., et al. 2019. Genetic parameters for lameness and claw and leg diseases in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96(5):3310-3318.
- Weller JL, et al. 2019. Genetic and environmental analysis of diseases with major economic impact in Israeli Holsteins. *Journal of Dairy Science* 102(11):10030-10038.
- Yamaguchi S., et al. 2019. Genetic parameters for mastitis incidence and its indicators based on somatic cell score for Holsteins in Hokkaido, Japan. *Animal science journal* 90(8):915-923.

第7章 疾病形質と他形質間の遺伝相関の推定

1. はじめに

疾病形質をひとつの選抜指標として育種改良を行うためには、経済的に重要な形質(泌乳、繁殖形質など)との遺伝的関係を把握し、耐病性の改良が他形質に与える影響を調査する必要がある。この情報は、耐病性指数の作成および耐病性指数を総合指数に組み込む際にも重要な役割を持つ。

そこで本章では、疾病形質と既存の遺伝評価形質間の遺伝相関を推定し、耐病性指数の開発および総合指数の見直しのための基礎情報を得ることを目的とした。

2. 分析方法

(1) データセットの作成

本分析では、初産時における疾病形質と305日泌乳形質(乳量、乳脂量(率)、乳蛋白質量(率)、無脂固形分量)、体細胞スコア(SCS)、泌乳持続性、 β ヒドロキシ酪酸(BHB)、長命性形質(在群能力、在群期間、生産期間)、繁殖形質(初回授精受胎率、空胎日数)、体型(5得点形質、25線形形質)、気質ならびに搾乳性間の遺伝的関連を調査した。体型形質および気質・搾乳性は一般社団法人日本ホルスタイン登録協会が集積した体型審査記録を利用し、その他の形質の記録は牛群検定情報より得た。在群期間および生産期間は84ヶ月齢を最大とする月数記録である。BHBは分娩後62日以内における初回測定記録を利用し、 $\log(100 \times \text{BHB} + 2)$ と変換した。

これらの形質の記録と前章までに利用してきた初産時の疾病データを結合し、遺伝相関を推定するためのデータセットを作成した。この時、一部の形質では対象とした形質に欠測を許容した。表7-1および7-2にはデータ結合後の記録数を示した。

(2) 統計モデル

遺伝相関の推定は、疾病形質と他形質の組み合わせによる2形質の線形アニマルモデルで行った。疾病形質に考慮した効果は、前章に記した遺伝的パラメータ推定の際に考慮したものと同一であった。その他の形質では、以下に示した統計モデルを利用した。

泌乳形質・SCS・泌乳持続性・BHB	$y_{ijklm} = HY_i + BYM_j + AGE_k + a_l + e_{ijklm}$
長命性形質	$y_{ijklm} = HY_i + BYM_j + AGE_k + a_l + e_{ijklm}$
繁殖形質	$y_{ijklmn} = FHY_i + FM_j + FAGE_k + s_l + a_m + e_{ijklmn}$
体型形質・気質・搾乳性	$y_{ijklm} = HYC_i + CAGE_j + LS_k + a_l + e_{ijklm}$

ここで、 $y_{ijklm(n)}$ は各形質の観測値、 HY_i は牛群・分娩年の母数効果、 BYM_j は地域・分娩年月の母数効果、 AGE_k は分娩月齢クラスの母数効果、 a_l は相加的遺伝の母数効果、 $e_{ijklm(n)}$ は残差である。繁殖形質について、 FHY_i は牛群・初回授精年の母数効果、 FM_j は初回授精月の母数効果、 $FAGE_k$ は初回授精時月齢クラスの母数効果、 s_l は交配相手の変量効果である。体型形質について、 HYC_i は牛群・審査年月日・審査委員の母数効果、 $CAGE_j$ は審査時月齢クラスの母数効果、 LS_k は泌乳ステージの母数効果である。なお、長命性形質に考慮した母数効果は、初産分娩時の情報であることを注意されたい。

遺伝的パラメータの推定はGIBBS2F90プログラムを用いたギブスサンプリング法で行った(Misztalら

2002)。反復回数および burn-in はそれぞれ 10 万回および 5 万回と設定し、残りの 5 万サンプルから 10 反復毎に得た 5 千サンプルを各分散の事後平均値の算出に利用した。

表 7-1. 疾病形質と泌乳形質、体細胞スコア、泌乳持続性、長命性形質、繁殖形質および β ヒドロキシ酪酸間の遺伝相関の推定に利用したデータセットの概要

形質	泌乳形質 ¹		体細胞スコア		泌乳持続性	
	牛群数	記録数 (欠測)	牛群数	記録数 (欠測)	牛群数	記録数 (欠測)
第四胃変位	856	326,163 (21,982)	856	312,475 (1,284)	759	300,626 (2,872)
子宮内膜炎	571	240,350 (16,862)	571	229,932 (921)	504	222,927 (2,829)
乳房炎	884	328,690 (22,099)	884	314,935 (1,289)	775	302,526 (2,888)
乳熱	860	325,301 (21,982)	860	311,621 (1,280)	769	301,476 (2,879)
胎盤停滞	692	283,711 (18,977)	692	271,707 (939)	631	265,583 (2,720)
産褥熱	836	322,068 (21,790)	836	308,505 (1,274)	748	298,191 (2,868)
ケトーシス	858	325,739 (21,999)	858	312,055 (1,288)	766	301,098 (2,884)
肢蹄病	868	327,385 (22,038)	868	313,658 (1,283)	768	301,686 (2,879)

形質	在群能力		在群期間		生産期間	
	牛群数	記録数 (欠測)	牛群数	記録数 (欠測)	牛群数	記録数 (欠測)
第四胃変位	751	178,304 (1,502)	751	178,304 (736)	751	178,304 (736)
子宮内膜炎	503	134,098 (1,094)	503	134,098 (566)	503	134,098 (566)
乳房炎	766	179,255 (1,508)	766	179,255 (739)	766	179,255 (739)
乳熱	760	178,880 (1,503)	760	178,880 (737)	760	178,880 (737)
胎盤停滞	628	158,273 (1,340)	628	158,273 (666)	628	158,273 (666)
産褥熱	740	176,755 (1,490)	740	176,755 (713)	740	176,755 (713)
ケトーシス	758	178,456 (1,506)	758	178,456 (738)	758	178,456 (738)
肢蹄病	760	178,731 (1,501)	760	178,731 (736)	760	178,731 (736)

形質	初回受胎率		空胎日数		BHB ²	
	牛群数	記録数 (欠測)	牛群数	記録数 (欠測)	牛群数	記録数 (欠測)
第四胃変位	853	172,503 (0)	852	148,739 (0)	738	83,703 (61,836)
子宮内膜炎	570	132,152 (0)	570	113,857 (0)	493	61,765 (45,672)
乳房炎	881	173,831 (0)	881	149,964 (0)	754	84,187 (62,206)
乳熱	856	172,532 (0)	856	148,799 (0)	748	83,714 (61,819)
胎盤停滞	690	153,207 (0)	690	131,958 (0)	615	73,556 (54,277)
産褥熱	833	171,342 (0)	833	147,756 (0)	728	83,046 (61,346)
ケトーシス	854	172,732 (0)	853	148,973 (0)	746	83,772 (61,902)
肢蹄病	866	173,286 (0)	866	149,501 (0)	748	84,021 (62,083)

¹乳量, 乳脂量(率), 乳タンパク質量(率), 無脂固形分量

² β ヒドロキシ酪酸

3. 結果と考察

表 7-3 には、疾病形質と泌乳形質、体細胞スコア、泌乳持続性、長命性形質、繁殖形質および BHB 間の遺伝相関の推定結果を示した。また、表 3-4 には、疾病形質と体型形質、気質ならびに搾乳性間の遺伝相関の推定結果を示した。0.1%水準で有意差が認められた形質の組み合わせは網掛けして示した。

疾病形質と乳量および乳成分量の泌乳形質間の遺伝相関は-0.36 か 0.18 の範囲で推定され、これらの

表 7-2. 疾病形質と体型形質、気質ならびに搾乳性間の遺伝相関の推定に遺伝相関推定に利用したデータセットの概要

形質	体型(データA) ¹		体型(データB) ²		体型(データC) ³		体型(歩様)	
	牛群数	記録数 (欠測)	牛群数	記録数 (欠測)	牛群数	記録数 (欠測)	牛群数	記録数 (欠測)
第四胃変位	841	108,176 (0)	841	108,168 (0)	838	94,431 (0)	738	29,736 (0)
子宮内膜炎	568	80,088 (0)	568	80,080 (0)	566	69,702 (0)	493	22,318 (0)
乳房炎	864	108,791 (0)	864	108,783 (0)	860	94,982 (0)	754	29,769 (0)
乳熱	844	107,785 (0)	844	107,777 (0)	842	94,045 (0)	748	29,534 (0)
胎盤停滞	683	91,981 (0)	683	91,979 (0)	681	80,063 (0)	615	26,387 (0)
産褥熱	822	106,795 (0)	822	106,787 (0)	820	93,195 (0)	728	29,412 (0)
ケトーシス	841	107,712 (0)	841	107,704 (0)	838	93,971 (0)	746	29,571 (0)
肢蹄病	851	108,287 (0)	851	100,288 (0)	848	94,514 (0)	748	29,722 (0)

¹5得点形質, 21線形形質, 気質, 搾乳性

²乳房の傾斜, 蹄踵の厚さ

³前中軀, 尻, ボディコンディションスコア

間には無相関または弱い相関関係があった。したがって、耐病性の育種改良を行うことで乳量、乳脂量および乳蛋白質量は減少方向に転じる可能性が示唆された。わが国の家畜改良増殖目標に掲げられているとおり、乳量のおよび乳成分の改良は今後も維持する必要があると考えられることから、耐病性を総合指数や長命連産効果に組み込む際には泌乳形質に配慮しながら重み配分を決定する必要がある。

疾病形質と体細胞スコア間には-0.81 から 0.07 の遺伝相関が推定され、中でも乳房炎と体細胞スコア間に最も強い遺伝的関係が存在した。体細胞スコアは乳房炎感染を表す指標として 2010 年に総合指数に組み込まれたが、本結果からも体細胞スコアの改良は乳房炎の抵抗性を高めるために有効であることが裏付けられた。諸外国の報告では、カナダのホルスタイン集団では 0.76 の遺伝相関を報告しており、本結果に近似した数値だった(Junior ら 2021)。また、Yamaguchi ら(2019)は牛群検定データから識別された乳房炎(1 が罹患、0 が健康)を用いて体細胞スコアとの間に 0.66 の中程度の遺伝相関を推定した。本結果は彼らの結果よりわずかに高い推定値が得られたが、これには利用したデータの相違が影響しているかもしれない。牛群検定情報から得られる乳房炎は酪農家の申告に基づくため、検定前に乳房炎を完治した個体は健康な個体(非罹患)としてみなされる可能性がある。一方、本分析に用いた疾病データは診療情報に基づくため、そのような情報の欠落は少ないだろう。しかしながら、牛群検定情報から得られる体細胞スコアを利用することで潜在性乳房炎を識別できると考えられることから、疾病データと併用することでより正確な乳房炎の遺伝評価をできる可能性がある。

疾病形質と泌乳持続性間の遺伝相関は多くの組み合わせで無相関であったが、乳房炎との間に弱い正の遺伝相関(0.14)が認められた。したがって、泌乳持続性は体細胞スコアとの間に負の遺伝的関係が報告されているように(Yamazaki ら 2013)、泌乳持続性を高める(泌乳曲線の平準化)ことで乳房炎抵抗性の改善をもたらすかもしれない。

ケトーシスは BHB との間に-0.4 程度の負の遺伝相関が推定され、過去の報告と同様の結果が得られた(Belay ら 2017)。BHB はケトーシスの罹患を示す指標として生産現場で利用されているが、本結果からも BHB がケトーシスを間接的に改良するために有効な選抜指標であることが示された。子宮内膜炎と BHB 間に中程度の遺伝相関が観測されたが、この結果は子宮内膜炎がケトーシスとの間に遺伝的関係が存在するために生じた可能性がある(前章参照)。牛群検定における BHB の検査は 2017 年に始まったことから、遺伝相関の推定に利用可能であったデータは他の形質に比べると少なかった。したがって、

表 7-3. 疾病形質と泌乳形質、体細胞スコア、泌乳持続性、βヒドロキシ酪酸、長命性形質ならびに繁殖形質間の遺伝相関 (有意差(p<0.001)が認められた組み合わせは網掛けで示した)

形質	乳量	乳脂量	乳蛋白質量	SNF ¹	乳脂率	乳蛋白質率	SCS ²
第四胃変異	-0.08	-0.05	-0.03	0.04	0.10	0.09	-0.04
子宮内膜炎	-0.34	-0.14	-0.27	0.16	0.13	0.12	-0.24
乳房炎	-0.36	-0.17	-0.29	0.18	0.20	0.29	-0.81
乳熱	-0.29	-0.25	-0.35	0.14	0.02	0.05	-0.06
胎盤停滞	-0.10	-0.08	-0.10	-0.02	-0.09	0.00	-0.12
産褥熱	-0.11	0.04	-0.03	0.15	0.16	0.10	0.07
ケトーシス	-0.23	-0.17	-0.07	0.10	0.27	0.29	-0.24
肢蹄病	-0.21	-0.08	-0.16	0.14	0.15	0.13	-0.27

形質	泌乳持続性	BHB ³	在群能力	在群期間	生産期間	初回授精受胎率	空胎日数
第四胃変異	-0.07	-0.16	0.30	0.25	0.26	0.20	-0.07
子宮内膜炎	-0.08	-0.48	0.47	0.44	0.46	0.47	-0.19
乳房炎	0.14	-0.10	0.62	0.65	0.65	-0.18	0.19
乳熱	-0.08	0.20	0.28	0.02	0.06	-0.07	-0.04
胎盤停滞	-0.05	0.25	0.22	0.17	0.17	0.21	-0.19
産褥熱	-0.14	-0.11	0.40	0.27	0.27	0.19	-0.23
ケトーシス	-0.09	-0.49	0.53	0.58	0.59	0.17	-0.17
肢蹄病	0.10	0.14	0.61	0.54	0.53	0.17	-0.23

¹無脂固形分量

²体細胞スコア

³βヒドロキシ酪酸

今後更なるデータの蓄積を待って再調査することが望ましいだろう。

疾病形質は長命性形質(在群能力、在群期間、生産期間)との間に正の遺伝的関係が存在し、最大で0.65の中程度の正の遺伝相関が推定された。それゆえ、本研究で対象とした疾病形質を主とする育種改良が可能となれば、生産寿命の延長に寄与することが示唆された。また、これまで国内のホルスタイン集団における長命性形質と疾病形質間の遺伝相関を推定した報告はほとんどなかったが、本結果から在群能力をはじめとする長命性形質の選抜は耐病性の間接的な改良に有効であると推察された。

疾病形質と繁殖形質間には強い遺伝相関が存在しなかったものの好ましい関係が存在し、疾病形質の改良は繁殖性の改善につながることを示された。繁殖成績の改良には子宮内膜炎が初回授精受胎率との間に中程度の遺伝相関(0.47)が存在したように、繁殖障害に影響する生殖器病の育種改良が有効と考えられる。それゆえ、本研究で対象としなかった卵胞嚢腫、卵巣静止さらには鈍性発情などの生殖器病の遺伝解析は今後検討していく必要があると推察される。諸外国の報告においても、生殖器病に関する疾病形質は、繁殖性との間に改良を行う上で好ましい遺伝相関が報告されている(Koeckら 2010)

表 7-4 には、疾病形質と体型形質、気質および搾乳性間の遺伝相関を示した。疾病形質と体型形質間に極端に強い遺伝相関は観測されず、遺伝的関係が認められた組み合わせは形質により異なっていた。第四胃変位、子宮内膜炎など多くの形質では、体の骨格や形状に関係する形質(体貌と骨格、乳用強健性、

高さ、胸の幅、体の深さ、鋭角性、尻の幅など)との間に弱から中程度の負の遺伝相関が推定された。したがって、体のサイズや乳用性に対する育種改良は多くの疾病のリスクを高める可能性がある。この見解は乳房炎および乳房炎以外の疾病(繁殖障害、消化器病、肢蹄病)について乳用性の遺伝的関連を調査した Hansen ら(2002)と一致する。国内のホルスタイン集団は体の大型化が進んでいるが、これは早期淘汰をもたらす主要因のひとつと考えられることから、体のサイズがあまり大型化しないよう育種計画を見直す必要があるだろう。

乳房炎では、乳器、乳房の深さ、前乳房の付着、後乳房の幅、乳房の深さ、さらには乳房の傾斜などの乳房形質との間に最大で中程度の遺伝相関(-0.33 から 0.48) が推定された。最も強い関係は乳房の深さに観測され、乳房底面が極端に低い個体は乳頭を損傷しやすく乳房炎の罹患リスクが高まると推察された。現在の NTP には乳房形質で構成される乳房成分が耐久性成分として組み込まれているが、乳房炎の罹患リスクの低減には乳房の形状の継続した改良も重要であると考えられる。

肢蹄病は肢蹄に関係する形質(肢蹄、後肢側望、蹄の角度)との間に絶対値で 0.2 程度の弱い遺伝相関が推定された。有意差は認められなかったものの、肢蹄病と歩様の間には 0.45 の遺伝相関があり、歩様の改良は肢蹄の故障を減らす上で有効である可能性がある。歩様は世界ホルスタイン・フリージアン連盟が定める国際標準形質として 2004 年 4 月より線形審査を行っているが、国内では遺伝評価値が公表されていない。本結果からも歩様は健全性を高める上で重要な形質であると考えられることから、早期の遺伝評価の開始を期待したい。

ほぼ全ての疾病形質はボディコンディションスコア(BCS)との間に正の遺伝相関が推定され(0.06 から 0.54)、瘦身の個体は各疾病の罹患リスクが高い可能性が示唆された。BCS は栄養状態の指標として生産現場で活用されているが、繁殖性とも遺伝的関連があることが知られている。健全性を保つ上で BCS は重要な役割を有する形質であることから、総合指数に組み込むことも必要かもしれない。

4. 結論

本章では、疾病形質と国内で遺伝評価が実施されている形質を中心に遺伝的関連を調査した。疾病形質は体細胞スコアや長命性形質などに観測されたように好ましい関係がある一方で、泌乳形質との間に対立した関係が存在するため、この点に留意して耐病性の改良を実施することが必要である。また、疾病の罹患リスクを低減するためには体の大型化を抑制することも検討しなければならないだろう。本章で明らかになった結果は、耐病性指数を作成し総合指数や長命連産効果に組み込むことを検討するための重要な知見である。

参考文献

- Belay TK., et al. 2017. Genetic parameters of blood β -hydroxybutyrate predicted from milk infrared spectra and clinical ketosis, and their associations with milk production traits in Norwegian Red cows. *Journal of Dairy Science* 100(2):6298-6311.
- Hansen M., et al. 2002. Genetic parameters of dairy character, protein yield, clinical mastitis, and other diseases in the Danish Holstein cattle. *Journal of Dairy Science* 85(2):445-452.

- Junior GAO., et al. 2021. Estimated genetic parameters for all genetically evaluated traits in Canadian Holsteins. *Journal of Dairy Science* 104(8):9002-9015.
- Koeck A., et al. 2010. Genetic analysis of clinical mastitis and somatic cell count traits in Austrian Fleckvieh cows. *Journal of Dairy Science* 93(12):5987-5995.
- Misztal I., et al. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). *Proceedings of the 7th world congress on genetics applied to livestock production* Vol. 28. No. 07.
- Yamaguchi S., et al. 2019. Genetic parameters for mastitis incidence and its indicators based on somatic cell score for Holsteins in Hokkaido, Japan. *Animal science journal* 90(8):915-923.
- Yamazaki T., et al. 2013. Genetic correlations between milk production traits and somatic cell scores on test day within and across first and second lactations in Holstein cows. *Livestock Science* 152(2-3):120-126.

表 7.4. 疾病形質と体型形質ならびに気質、搾乳性間の遺伝相関(有意差(p<0.001)が認められた組み合わせは網掛けで示した)

形質	外貌と骨格	肢蹄	乳用強健性	乳器	決定得点	前中軀	尻	高さ	胸の幅	体の深さ	鋭角性
第四胃変異	-0.18	-0.10	-0.32	0.14	-0.07	-0.19	-0.05	-0.12	-0.18	-0.32	-0.33
子宮内膜炎	-0.23	-0.01	-0.50	-0.18	-0.22	-0.32	-0.02	-0.38	-0.41	-0.47	-0.55
乳房炎	-0.05	0.16	-0.21	0.28	0.14	-0.02	-0.12	0.05	-0.10	-0.13	-0.25
乳熱	-0.15	-0.23	-0.23	-0.48	-0.33	-0.07	-0.16	-0.17	-0.17	-0.18	-0.17
胎盤停滞	-0.02	0.13	-0.11	-0.10	-0.11	0.01	0.10	-0.14	-0.10	-0.03	-0.12
産褥熱	-0.25	-0.16	-0.38	-0.22	-0.30	-0.27	-0.10	-0.35	-0.30	-0.33	-0.45
ケトーシス	-0.15	-0.03	-0.36	0.06	-0.06	-0.15	-0.16	-0.07	-0.04	-0.20	-0.40
肢蹄病	-0.20	0.25	-0.34	-0.02	-0.08	-0.22	-0.10	-0.23	-0.22	-0.28	-0.40

形質	尻の角度	尻の幅	後肢側望	後肢後望	蹄の角度	前乳房の付着	後乳房の高さ	後乳房の幅	乳房の懸垂	乳房の深さ	前乳頭の配置
第四胃変異	0.05	-0.05	0.03	-0.05	-0.02	0.15	0.02	-0.07	-0.02	0.14	-0.03
子宮内膜炎	0.02	-0.21	-0.04	-0.41	-0.09	-0.05	-0.12	-0.41	-0.48	-0.04	-0.36
乳房炎	-0.05	0.02	-0.08	0.12	0.02	0.35	0.00	-0.33	-0.01	0.48	0.06
乳熱	0.17	-0.23	0.11	-0.06	-0.33	-0.39	-0.23	-0.09	-0.22	-0.46	0.12
胎盤停滞	-0.11	0.10	0.07	-0.03	-0.05	-0.01	-0.08	-0.10	0.07	-0.05	-0.03
産褥熱	0.02	-0.10	0.06	-0.15	0.03	-0.19	-0.20	-0.09	-0.30	-0.15	-0.10
ケトーシス	-0.15	-0.12	-0.08	-0.15	0.19	0.21	-0.10	-0.34	-0.06	0.12	0.02
肢蹄病	0.00	-0.23	-0.22	0.02	-0.29	0.02	-0.10	-0.21	-0.08	0.04	-0.07

形質	前乳頭の長さ	乳房の傾斜	後肢骨質	坐骨幅	後乳頭の配置	蹄踵の厚さ	BCS	歩様	気質	搾乳性
第四胃変異	-0.04	0.02	-0.09	-0.19	-0.04	-0.05	0.31	0.01	-0.07	0.01
子宮内膜炎	-0.24	-0.17	-0.24	-0.15	-0.07	0.03	0.27	0.12	-0.11	-0.26
乳房炎	-0.06	0.25	0.01	-0.06	0.00	0.07	0.30	0.16	0.17	-0.01
乳熱	-0.32	-0.27	-0.18	-0.07	0.22	-0.35	0.06	0.24	0.03	-0.16
胎盤停滞	-0.01	-0.05	-0.03	0.08	-0.03	-0.05	0.20	-0.20	0.43	0.14
産褥熱	-0.03	-0.31	-0.21	-0.09	-0.07	0.00	0.38	0.12	0.15	-0.08
ケトーシス	-0.01	-0.10	-0.17	-0.14	-0.02	0.14	0.54	-0.15	0.05	-0.06
肢蹄病	-0.01	-0.07	0.09	-0.13	-0.05	-0.18	0.37	0.45	0.18	0.12

第8章 疾病形質の遺伝評価値の推定とゲノミック評価精度の検証

1. はじめに

これまでの遺伝解析の結果から、疾病データを用いて推定された疾病形質の遺伝率は低いことが明らかとなった。これに加えて、疾病データは泌乳形質や体細胞スコアなどの遺伝評価に利用されている牛群検定情報に比べると利用可能な記録数が少ないために、疾病形質の遺伝評価値の信頼度は低いと推測される。したがって、耐病性の育種改良を実施には疾病形質の育種価を如何に正確に予測できるかが大きな課題であり、推定精度向上のための検討が不可欠である。

2010年以降、乳牛では一塩基多型(SNP)情報を利用した遺伝評価手法(ゲノミック評価)が主流であるが、この手法の活用によって疾病形質の推定育種価の信頼度を向上できると期待される。海外の先行研究によると、SNP情報を利用して得られたゲノミック育種価の信頼度は、従来の血縁情報に基づく最良線形予測(BLUP)法よりも向上することが報告されている(Gaddisら 2014; Vukasinovicら 2017)。

本章では、従来の最良線形予測(BLUP)法とシングルステップの BLUP(ssGBLUP)法により疾病形質の遺伝評価値を推定し、各評価法による推定精度を比較した。

2. 分析方法

(1) データ

本分析では、第6章の遺伝的パラメータの推定に利用したデータの中から、初産および初産から5産までの複数産次の記録をそれぞれ利用した。これらの記録は2004年から2022年の期間で分娩した個体で構成されるデータセット(完全データ)であるが、交差検証(クロスバリデーション)のために2015年で切断したデータセット(切断データ)を作成した。完全および切断データの概要は、表8-1に示した。

分析に利用したSNPは(一社)日本ホルスタイン登録協会のデータベースから抽出した、2015年以前に誕生した雄牛および切断データに記録を有する雌牛で構成される合計11,564から13,201頭のものであった(表8-1)。これらの個体のSNPデータは、イルミナ社の低密度(LD)、中密度(50K)チップまたは(一社)家畜改良事業団がイルミナ社とともに開発したXT(50K)チップでSNPタイピングが行われていた。欠測の遺伝子型は、インプューションを行い事前に補完した。本分析では、マイナーアレル頻度が0.05%以上の条件を満たした約4万箇所のSNPを利用した。

(2) 遺伝評価値の推定

完全および切断データに初産および複数産次の単形質アニマルモデルを適用し、育種価をそれぞれ推定した。各モデルには、遺伝的パラメータの推定時に考慮したものと同一の効果を検討した。また遺伝的パラメータは、第6章の推定値を利用した。血縁は記録を有する雌牛から5世代まで遡り、血縁が不明な個体には仮想両親(Unknown parent groups; UPG)を考慮した。解の推定は前処理付き共役勾配法(PCG)法で行い、その収束基準を 10^{-14} と設定した。

ゲノミック育種価の推定はssGBLUP法で行った。ssGBLUP法では、血縁情報から得られる分子血縁行列(**A**)とSNPデータから計算したゲノム血縁行列(**G**)を結合した血縁行列(**H**)を利用する。**H**の逆行列は、以下の通り示される。

表 8-1. 分析に利用した切断および完全データの概要

形質	項目	初産		初～5産	
		切断データ	完全データ	切断データ	完全データ
第四胃変位	記録数	234,566	326,163	632,378	888,260
	血縁個体数	464,009	586,148	484,183	613,198
	同期グループ数	11,066	14,451	11,184	14,766
	SNP個体数	13,181(5,690)		13,257(5,766)	
子宮内膜炎	記録数	174,423	240,350	470,792	656,025
	血縁個体数	350,040	436,508	363,801	454,419
	同期グループ数	7,552	9,818	7,633	10,033
	SNP個体数	11,564(4,073)		11,609(4,118)	
乳房炎	記録数	236,153	328,690	636,757	895,459
	血縁個体数	467,747	591,225	488,109	618,607
	同期グループ数	11,286	14,770	11,431	15,124
	SNP個体数	13,201(5,710)		13,277(5,786)	
乳熱	記録数	233,971	325,301	631,513	886,883
	血縁個体数	462,895	584,766	482,825	611,511
	同期グループ数	11,104	14,509	11,219	14,821
	SNP個体数	13,138(5,647)		13,213(5,722)	
胎盤停滞	記録数	204,229	283,711	551,176	771,653
	血縁個体数	404,037	509,305	420,300	530,627
	同期グループ数	9,075	11,840	9,158	12,074
	SNP個体数	12,145(4,654)		12,202(4,711)	
産褥熱	記録数	231,530	322,068	624,651	877,751
	血縁個体数	458,200	579,070	477,844	605,494
	同期グループ数	10,833	14,154	10,931	14,441
	SNP個体数	13,107(5,616)		13,176(5,685)	
ケトーシス	記録数	234,144	325,739	631,425	887,424
	血縁個体数	463,679	585,871	483,864	613,000
	同期グループ数	11,057	14,454	11,184	14,774
	SNP個体数	13,155(5,664)		13,230(5,739)	
肢蹄病	記録数	235,171	327,385	634,143	891,765
	血縁個体数	465,763	588,842	485,974	616,059
	同期グループ数	11,155	14,591	11,289	14,922
	SNP個体数	13,173(5,682)		13,246(5,755)	

¹SNP個体数の項目における括弧内の数値は雌牛数

$$\mathbf{H}^{-1} = \mathbf{A}^{-1} + \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{G}^{-1} - \mathbf{A}_{22}^{-1} \end{bmatrix}$$

ここで、 \mathbf{A}_{22}^{-1} は SNP データを有する個体の分子血縁行列である。 \mathbf{G} は VanRaden(2008)の 1 番目の方法 ($\mathbf{M}\mathbf{M}'/2\sum_{i=1}^m p_i(1-p_i)$)で計算した。ここで \mathbf{M} はマーカー行列、 m は分析に利用した SNP 数、 p は i 番目の SNP におけるアレル頻度である。UPG を考慮した場合には、上記の血縁行列は下記の通り拡張される(Masuda ら 2021)。

$$\mathbf{H}^* = \mathbf{A}^* + \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{G}^{-1} - \mathbf{A}_{22}^{-1} & -\mathbf{A}_{22}^{-1}\mathbf{Q}_2 \\ \mathbf{0} & -\mathbf{Q}_2'\mathbf{A}_{22}^{-1} & \mathbf{Q}_2'\mathbf{A}_{22}^{-1}\mathbf{Q}_2 \end{bmatrix}$$

ここで、 \mathbf{A}^* は UPG を考慮した血縁行列の逆行列、 \mathbf{Q}_2 は SNP データを有する個体についての UPG の計画行列である。ssGBLUP 法による解の推定は、BLUP と同様に PCG 法で行った。

(3) 推定精度の比較

育種価の推定精度を以下に示す 2 種類の方法で比較評価した。

① 期待信頼度

完全および切断データから得られる育種価の期待信頼度を Misztal と Wiggans(1988)の近似法を用いて推定した。ゲノミック育種価の信頼度は、その近似法で得られた記録および血縁情報からの寄与に対して、SNP データ由来の寄与を追加し計算した(Misztal ら 2013)。その式は以下のとおり示される。

$$\mathbf{Q}^{-1} = [\mathbf{D} + (\mathbf{I} + \text{diag}(\mathbf{G}^{-1} - \mathbf{A}_{22}^{-1}))\alpha]^{-1}$$

ここで、 α は分散比、 \mathbf{D} は記録および血縁からの寄与を表す行列、 \mathbf{I} は単位行列である。この計算後、 $R_i^2 = 1 - \alpha q^{ii}$ により i 番目の個体について SNP の寄与を考慮した信頼度(R_i^2)を得た。

② 交差検証

切断データに BLUP と ssGBLUP を適用して得られた疾病形質の予測値と、完全データから得られた育種価を比較した。この比較に利用した予測個体は、切断データで記録を有する娘牛が存在せず、かつ完全データで記録を有する娘牛を 1 頭でも有する国内種雄牛 609 頭であった。乳牛における交差検証では、完全データから推定した deregressed-EBV (dEBV)と切断データから推定した予測値の類似性を線形回帰で評価することが一般的である。しかしながら、疾病形質の育種価の信頼度が低い場合、dEBV を推定できない予測個体が存在した。そこで本分析では、Legarra と Reverter(2018)が示した統計量に基づき評価精度の検証を行った。以下には、本分析で利用した 3 種類の統計量を示した。

- バイアス ($\hat{\Delta}_p$)

切断データおよび完全データを用いて得られた予測個体の推定育種価($\hat{\mathbf{u}}_w$ および $\hat{\mathbf{u}}_p$)の平均値間の差を $\hat{\Delta}_p = \overline{\hat{\mathbf{u}}_p} - \overline{\hat{\mathbf{u}}_w}$ として計算した。バイアスがない場合、 $\hat{\Delta}_p$ はゼロになると期待される。

- 分散のバイアス (\hat{b}_p)

$\hat{\mathbf{u}}_w$ に対する $\hat{\mathbf{u}}_p$ の傾きを $\hat{b}_p = \frac{\text{cov}(\hat{\mathbf{u}}_w, \hat{\mathbf{u}}_p)}{\text{var}(\hat{\mathbf{u}}_p)}$ で計算した。 \hat{b}_p が 1.0 に近ければこのバイアスが小さいと期待される。 \hat{b}_p が 1.0 よりも大きい場合は過大分散、逆に小さい場合は過小分散が存在すると考えられる。

- 正確度の比($\hat{\rho}_{p,w}$)

\hat{u}_w と \hat{u}_p 間のピアソンの相関を $\hat{\rho}_{p,w} = \frac{cov(\hat{u}_w, \hat{u}_p)}{\sqrt{var(\hat{u}_w)var(\hat{u}_p)}}$ として計算した。この期待値は、切断データおよび完全データから得られる正確度(acc_p 、 acc_w)の比の $\frac{acc_p}{acc_w}$ になる。したがって、 $\hat{\rho}_{p,w}$ が1.0に近い値であれば正確度の増加量が小さく、逆に1.0よりもかなり低い値は正確度の増加量が大きいと解釈される。これは、完全データに対して正確度に影響する情報量がどの程度追加されたかに依存する。

3. 結果と考察

(1) 期待信頼度

表 8-2 には、初産時の切断および完全データを利用して得られた疾病形質の期待信頼度の平均値をそれぞれ示した。交差検証に利用した予測個体 609 頭における期待信頼度は、切断データにおいて 2.7 から 13.7%(BLUP)、11.1 から 30.6%(ssGBLUP)、そして完全データにおいて 5.0 から 27.5%(BLUP)、16.6 から 50.1%(ssGBLUP)の範囲にあり、いずれの形質でも SNP データを利用することで信頼度が顕著に向上した。切断データと完全データを比較したときの各評価法による増加量は、BLUP で 1.9 から 2.7 倍、ssGBLUP で 1.4 から 1.6 倍であった。SNP 情報を考慮することによる評価値の信頼度向上は、海外の報告と同様であった(Vukasinovic ら 2017)。切断および完全データの両方で 10 頭以上の記録を有する娘牛をもつ種雄牛では(表 8-2 中段)、第四胃変位のように SNP を利用しなくても 50%の信頼度を超える形質もあったが、子宮内膜炎、乳熱ならびに胎盤停滞では 20%未満と依然として低かった。それらの 3 形質の遺伝率は分析の対象とした疾病の中でも特に低いため、記録を有する娘牛から得られる寄与はかなり小さい。それゆえ、将来的に疾病データを利用した疾病形質の遺伝評価を行われ、耐病性に優れた種雄牛を交配することが可能になったとしても、ゲノミック評価の利用による信頼度の底上げが必須と考えられた。記録を有する雌牛の期待信頼度(表 8-2 下段)は、当該牛自身が記録を持つために予測個体のそれよりわずかに高い値を示した。

表 8-3 には、複数産次のデータを利用時の期待信頼度を示した。利用した遺伝率の相違により、各形質の期待信頼度は初産時の結果と比べると変動しているが、初産次と同様に SNP データの利用によって信頼度の向上が確認された。

(2) 交差検証

表 8-4 には、交差検証として完全データに ssGBLUP を適用し得られた育種価と切断データに BLUP および ssGBLUP を適用し得られた育種価を用いて得られた 3 種類の統計量を示した。

$\hat{\Delta}_p$ は、BLUP で-0.82 から 1.32%、ssGBLUP で-0.19 から 0.48%の範囲にあり、ssGBLUP でより小さな数値が得られた。 \hat{b}_p は、0.28 から 0.46、0.61 から 0.77 の範囲の 1.0 より低い値が推定され、いずれの形質でも過小分散にあった。しかしながら、ssGBLUP では \hat{b}_p が 1.0 により近く、過小分散は改善した。過小分散の結果には、疾病形質そのものの遺伝率が低いため信頼度が低いことが影響していると考えられる。 $\hat{\rho}_{p,w}$ は BLUP で 0.41 から 0.69、ssGBLUP で 0.78 から 0.83 の範囲にあり、すべての形質で ssGBLUP を適用時に高い値が推定された。すなわち、ssGBLUP で推定したゲノミック育種価は完全データ由来のゲノミック育種価によく近似していることが示唆された。期待信頼度の結果から、ゲノミック育種価は従来の血縁情報に基づく育種価よりも信頼度が高いと推測されたが、交差検証でも同様に精度の高い推定値が得られていることが期待された。初産から 5 産の記録を利用した場合でも、初産のみの結果と同

表 8-2 初産の切断および完全データから推定した疾病形質の期待信頼度(%)の平均値

○切断データで記録を有する娘牛が存在せず、完全データで記録を有する娘牛をもつ国内雄牛(n=609)

形質	BLUP(切断)	ssGBLUP(切断)	BLUP(完全)	ssGBLUP(完全)
第四胃変位	13.7	30.6	27.5	50.1
子宮内膜炎	2.7	13.3	6.2	19.1
乳房炎	11.6	27.4	22.4	43.3
乳熱	1.9	11.1	5.0	16.6
胎盤停滞	2.9	13.4	6.7	19.8
産褥熱	5.3	17.2	10.2	25.2
ケトーシス	4.5	15.7	9.0	23.2
肢蹄病	6.4	18.9	11.9	27.9

○10頭以上の記録をもつ娘牛を有し、2000年から2013年に誕生した国内種雄牛(n=341)

形質	BLUP(切断)	ssGBLUP(切断)	BLUP(完全)	ssGBLUP(完全)
第四胃変位	53.3	72.3	63.4	80.7
子宮内膜炎	15.6	29.2	19.8	33.9
乳房炎	46.1	64.7	56.2	73.9
乳熱	12.1	23.8	15.0	27.3
胎盤停滞	16.5	30.1	21.2	35.3
産褥熱	24.0	40.0	30.1	46.8
ケトーシス	20.1	35.2	25.3	41.5
肢蹄病	26.6	43.9	32.6	50.2

○SNPデータを有し、記録を有する雌牛(個体数は表8-1参照)

形質	BLUP(切断)	ssGBLUP(切断)	BLUP(完全)	ssGBLUP(完全)
第四胃変位	26.4	49.1	28.9	52.2
子宮内膜炎	7.8	22.5	9.6	25.4
乳房炎	22.3	43.6	24.6	46.7
乳熱	6.1	19.3	7.9	22.1
胎盤停滞	8.1	22.8	9.8	25.5
産褥熱	11.9	28.5	13.8	31.5
ケトーシス	10.5	26.4	12.6	29.5
肢蹄病	13.6	31.2	15.5	34.1

様の結果が得られたが、BLUP で得られた乳熱において各統計量は低い値であった。この原因として、BLUP から得られた育種価がうまく推定できていなかった可能性があり、その一因として初産と後産次の遺伝相関が低いことが影響している可能性がある。乳熱では、初産と後産次の遺伝相関の相違を考慮

表 8-3. 初産から 5 産の切断および完全データから推定した疾病形質の期待信頼度(%)の平均値

形質	BLUP(切断)	ssGBLUP(切断)	BLUP(完全)	ssGBLUP(完全)
第四胃変位	7.2	20.2	15.9	33.9
子宮内膜炎	2.0	12.0	6.4	19.5
乳房炎	16.5	34.6	36.6	60.6
乳熱	6.7	19.3	14.7	32.1
胎盤停滞	4.4	16.0	10.7	26.2
産褥熱	5.9	18.0	13.6	30.5
ケトーシス	5.2	16.9	12.4	28.6
肢蹄病	10.2	25.0	21.5	42.0

○10頭以上の記録をもつ娘牛を有し、2000年から2013年に誕生した国内種雄牛 (n=1,515)

形質	BLUP(切断)	ssGBLUP(切断)	BLUP(完全)	ssGBLUP(完全)
第四胃変位	24.4	44.5	28.0	48.8
子宮内膜炎	10.5	25.0	12.3	27.4
乳房炎	49.3	71.9	54.8	76.5
乳熱	22.6	42.3	26.1	46.6
胎盤停滞	17.6	35.3	20.2	38.7
産褥熱	21.4	40.5	24.4	44.4
ケトーシス	19.9	38.2	22.7	41.9
肢蹄病	32.2	54.1	36.8	59.2

○SNPデータを有し、記録を有する雌牛(個体数は表8-1参照)

形質	BLUP(切断)	ssGBLUP(切断)	BLUP(完全)	ssGBLUP(完全)
第四胃変位	16.5	35.4	21.5	42.6
子宮内膜炎	7.2	21.5	10.5	26.8
乳房炎	34.1	58.1	42.4	67.0
乳熱	15.7	34.1	20.6	41.2
胎盤停滞	11.6	28.4	16.2	35.3
産褥熱	14.2	32.0	19.3	39.5
ケトーシス	13.0	30.1	17.9	37.5
肢蹄病	21.5	42.4	27.5	50.4

したモデリングあるいは2産以降のデータを利用するなどの対応が必要と考えられる。将来的な遺伝評価を考えた場合、複雑な評価モデルの利用は計算コストの増加などの点から好ましくないため、2産以降のデータを利用し評価を行うことが望ましいと推察される。

(3) 遺伝的トレンド

図 8-1 から 8-6 には、完全データを用いて BLUP および ssGBLUP で推定した疾病形質に関する標準化

表 8.4. 完全データに ssGBLUP を適用し得られた育種価と切断データに BLUP および ssGBLUP を適用し得られた育種価を用いた交差検証の結果(上段 $\hat{\Delta}_p$ 、中段 \hat{b}_p 、下段 $\hat{\rho}_{p,w}$)

形質	初産		初産-5産	
	BLUP	ssGBLUP	BLUP	ssGBLUP
第四胃変位	1.32	-0.34	0.98	0.06
子宮内膜炎	-0.64	-0.14	-0.15	-0.05
乳房炎	-0.02	0.48	2.42	0.83
乳熱	-0.12	0.00	0.01	0.58
胎盤停滞	-0.18	-0.03	0.33	0.01
産褥熱	-0.82	-0.19	-0.08	-0.18
ケトーシス	-0.39	0.11	0.18	0.07
肢蹄病	-0.38	-0.13	0.24	-0.24

形質	初産		初産-5産	
	BLUP	ssGBLUP	BLUP	ssGBLUP
第四胃変位	0.28	0.75	0.59	0.72
子宮内膜炎	0.30	0.61	0.29	0.65
乳房炎	0.31	0.77	0.25	0.77
乳熱	0.46	0.74	0.02	0.49
胎盤停滞	0.24	0.71	0.14	0.75
産褥熱	0.42	0.76	0.27	0.70
ケトーシス	0.37	0.72	0.27	0.71
肢蹄病	0.26	0.62	0.22	0.62

形質	初産		初産-5産	
	BLUP	ssGBLUP	BLUP	ssGBLUP
第四胃変位	0.69	0.83	0.64	0.87
子宮内膜炎	0.51	0.80	0.5	0.81
乳房炎	0.56	0.86	0.45	0.84
乳熱	0.45	0.83	0.04	0.54
胎盤停滞	0.41	0.78	0.29	0.80
産褥熱	0.66	0.87	0.54	0.80
ケトーシス	0.57	0.83	0.53	0.81
肢蹄病	0.50	0.78	0.47	0.78

育種価の遺伝的トレンドを示した。標準化は、2015年に生まれた記録をもつ雌牛の育種価の平均値と標準偏差を利用して行った。

雄牛では 2000 から 2006 年の間で乳熱を除く、他の 7 形質において明確な傾向が認められなかった

が、2007年以降に正のトレンドを示し好ましい方向に推移していた。正の方向を示した背景には、国内の総合改良目標のNTPに体細胞スコアや空胎日数が疾病繁殖成分として追加され、健全性を高めることが可能になったことが一因にあるかもしれない。この結果、耐久性の遺伝的能力が向上し、多くの疾病形質に間接反応が生じた可能性がある。NTPは本事業の成果をもって在群能力を新たに追加し(2022年)、より生産寿命が延長し生涯生産性を高めることが期待できるものとなった。この変更は、更なる耐病性の高い個体の間接選抜に寄与すると考えられる。また、ゲノミック選抜によって効率的な改良を実施できるようになったことも、本分析で対象とした疾病形質の改善に貢献している可能性がある。国内種雄牛の多くは北米の受精卵を用いて造成されたものであり、北米の改良方針の影響を大いに受けているはずである。北米ではゲノミック選抜の影響により生産寿命や繁殖形質など遺伝率の低い形質の改良も顕著であることから(Garcia-Ruizら2016)、本結果にも反映されたと考えられる。BLUPおよびssGBLUPで推定された遺伝的トレンドは同様の推移を示したが、乳熱や胎盤停滞などの形質では手法間でわずかに変動が生じていた。前述したように、これらの形質は疾病形質の中でも特に信頼度が低い形質であったことから、変動が大きかった可能性がある。

記録を有する雌牛では、雄牛に比べると明確なトレンドを示さず、年次間での変動は小さかった(図8-2)。しかしながら、2015年以降では雄牛と同様に乳熱を除く7形質で正の方向へ改良傾向にあった。SNPデータを有する雌牛数に限りがあったため、2006年から2016年の期間における遺伝的トレンドを示したが、第四胃変位、子宮内膜炎、産褥熱、ケトosisおよび肢蹄病では2008年以降を境に正の方向に改良傾向にあった。乳房炎、乳熱および胎盤停滞は平坦なトレンドを示し、悪化もしていないことが示唆された。

初産から5産のデータを利用して得られた遺伝的トレンドは、初産から得られた結果と同様のトレンドを示した(図8-3、8-4、8-5)。しかしながら、乳熱では負のトレンドを示し、悪化している可能性があった。この初産の結果との相違は、前述したように初産と後産次との遺伝相関が強くないことや、初産における乳熱の罹患率が低いことも影響しているかもしれない。

4. 結論

本章の結果より、疾病形質の育種価の信頼度はSNPを利用することで向上することが明らかとなった。疾病形質の中には、血縁情報のみに基づく育種価では十分な信頼度が得られず、正確な選抜が実施できない形質が存在する。したがって、ゲノミック評価は疾病形質においてほぼ不可欠であると考えられる。疾病形質の多くは正の遺伝的トレンドを示し、好ましい方向へ改良が進んでいた。しかしながら、乳熱では初産および初産から5産の複数産次の結果に相違がみられたことから、初産の罹患率がかなり低いことを考えると2産以降のみのデータを利用することが望ましい。

参考文献

- Gaddis KLP., et al. 2014. Genomic selection for producer-recorded health event data in US dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 97(5):3190-3199.
- García-Ruiz A., et al. 2016. Changes in genetic selection differentials and generation intervals in US Holstein dairy cattle as a result of genomic selection. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113(28): E3995-E4004.

- Legarra A and Reverter A. 2018. Semi-parametric estimates of population accuracy and bias of predictions of breeding values and future phenotypes using the LR method. *Genetics Selection Evolution* 50:1-18.
- Masuda Y., et al. 2021. Comparison of models for missing pedigree in single-step genomic prediction. *Journal of Animal Science* 99(2):skab019.
- Misztal I and Wiggans GR. 1988. Approximation of prediction error variance in large-scale animal models. *Journal of Dairy Science* 71:27-32.
- Misztal I., et al. 2013. Methods to approximate reliabilities in single-step genomic evaluation. *Journal of Dairy Science* 96(1):647-654.
- VanRaden PM. 2008. Efficient methods to compute genomic predictions. *Journal of Dairy Science* 91(11):4414-4423.
- Vukasinovic N., et al. 2017. Development of genetic and genomic evaluation for wellness traits in US Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 100(1):428-438.

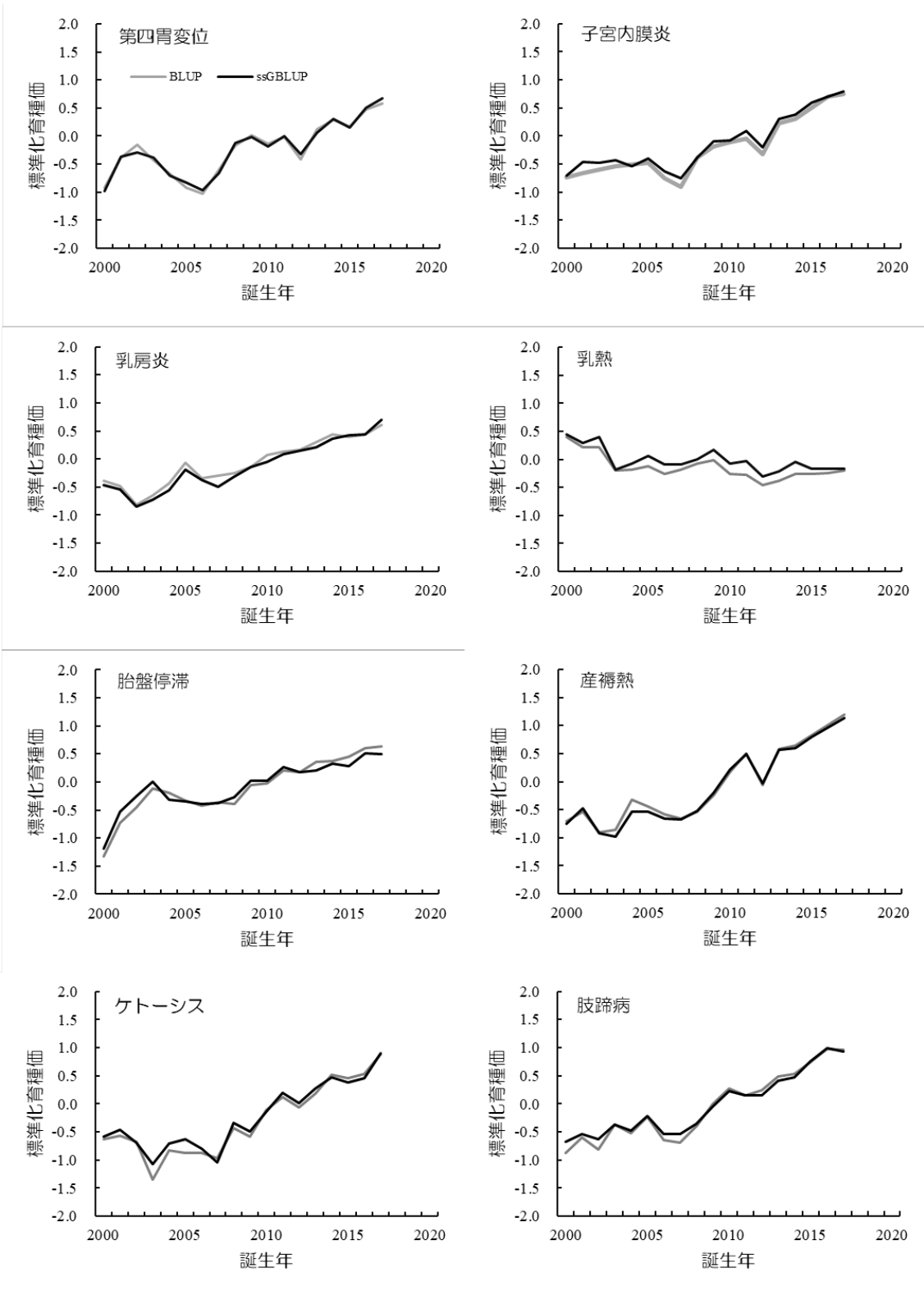


図 8-1. SNP データを有する国内雄牛の遺伝的トレンド(初産)

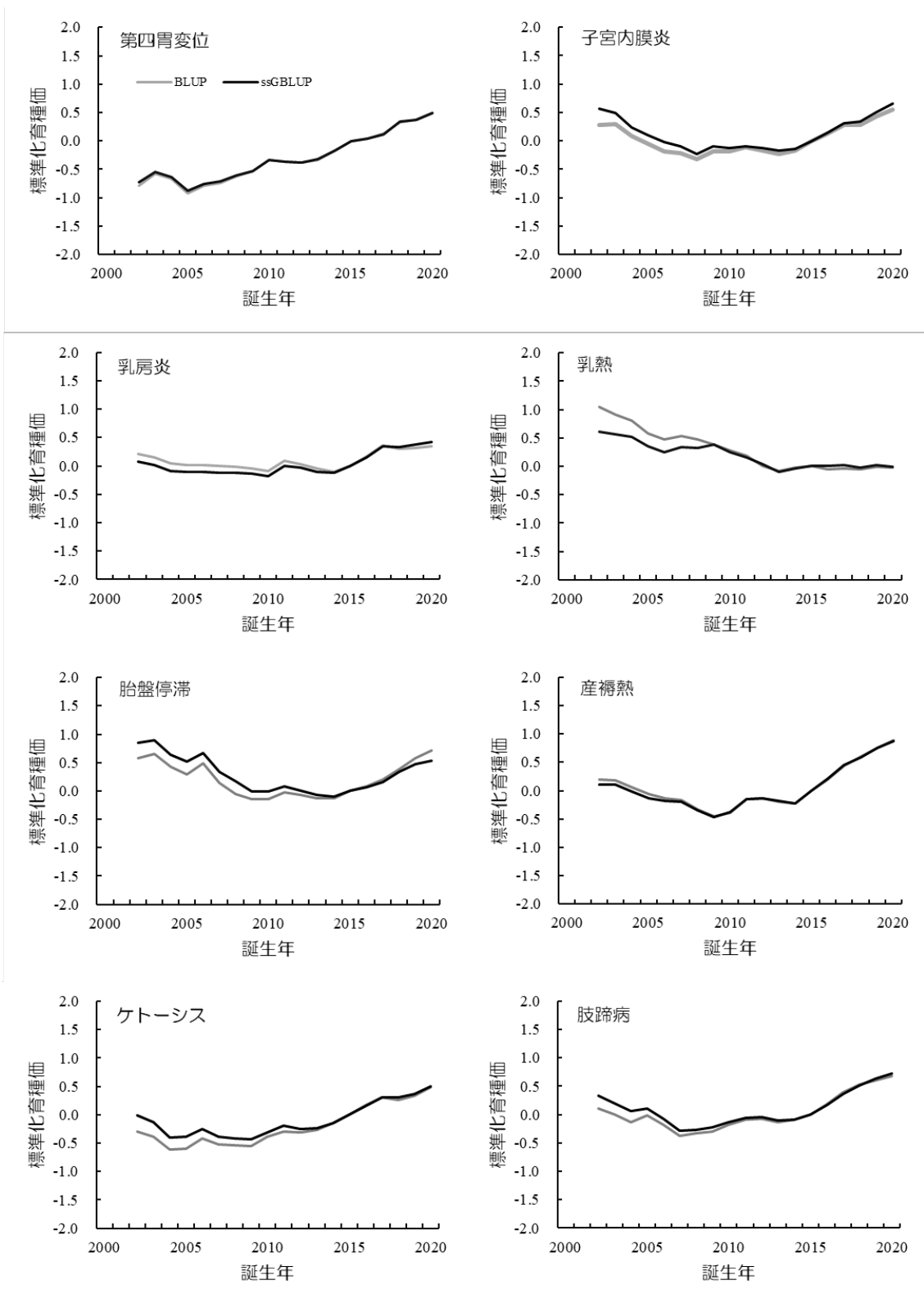


図 8-2. 記録を有する雌牛の遺伝的トレンド(初産)

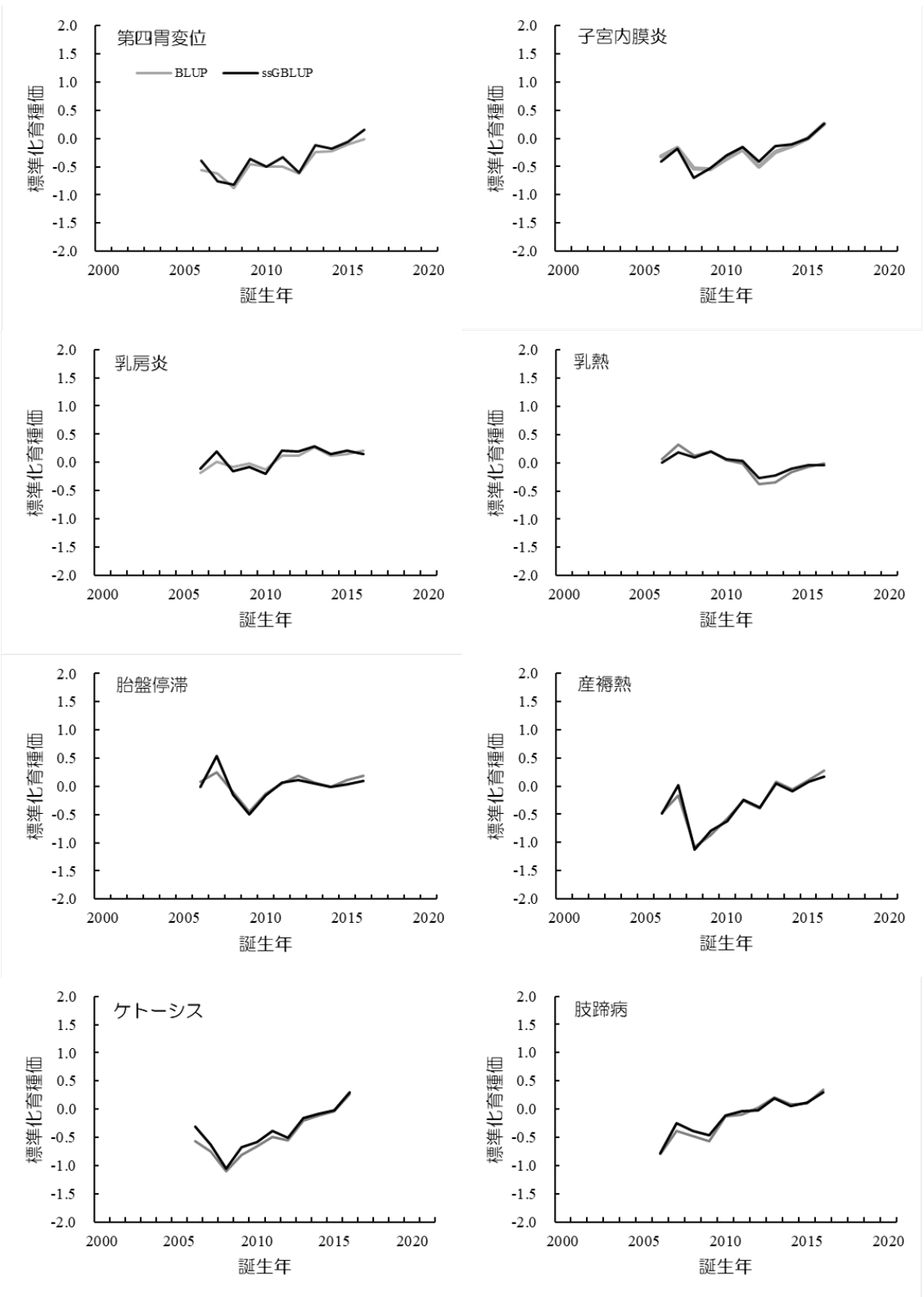


図 8-3. SNP データおよび記録を有する雌牛の遺伝的トレンド(初産)

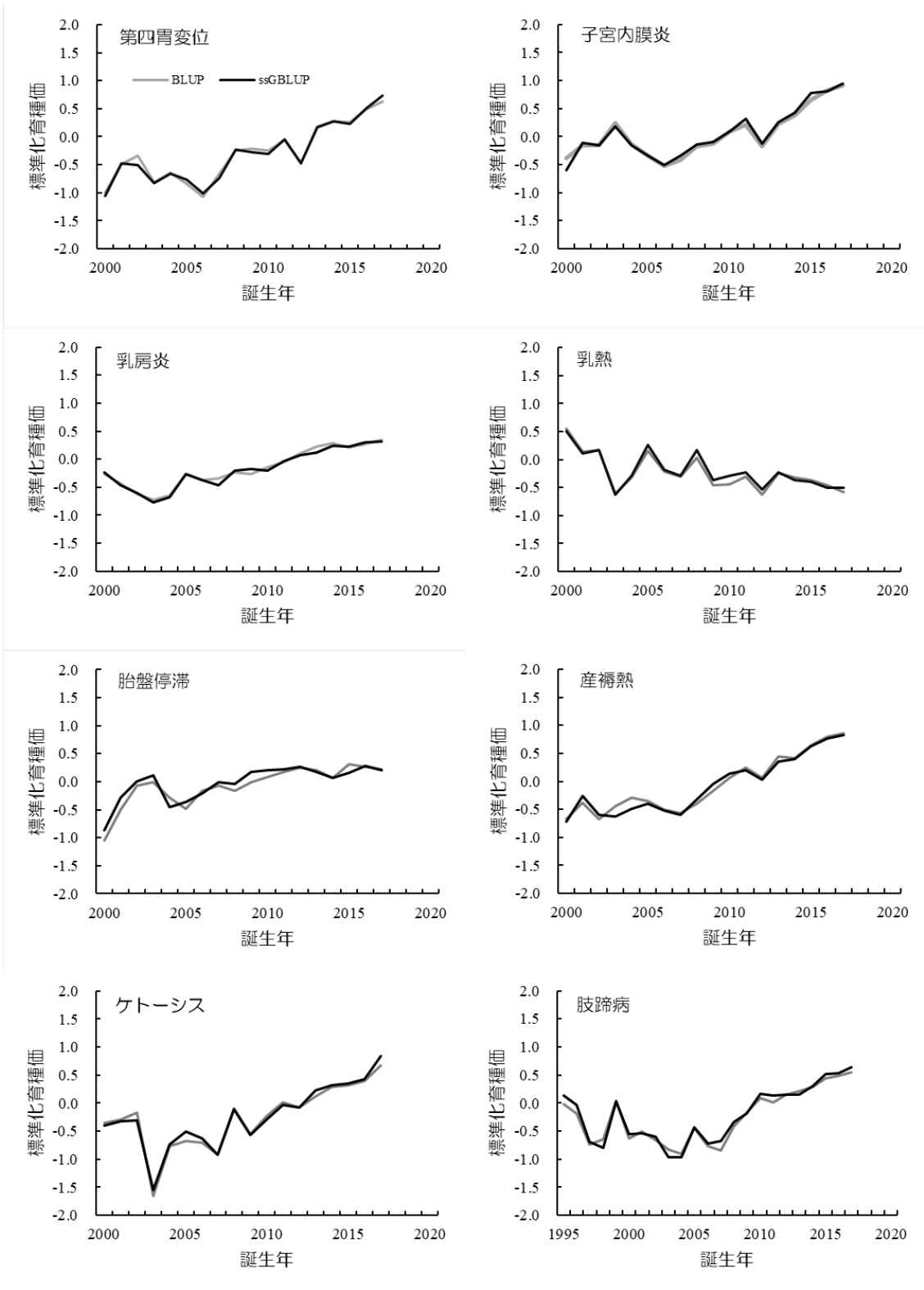


図8-4. SNP データを有する国内雄牛の遺伝的トレンド(初産から5産)

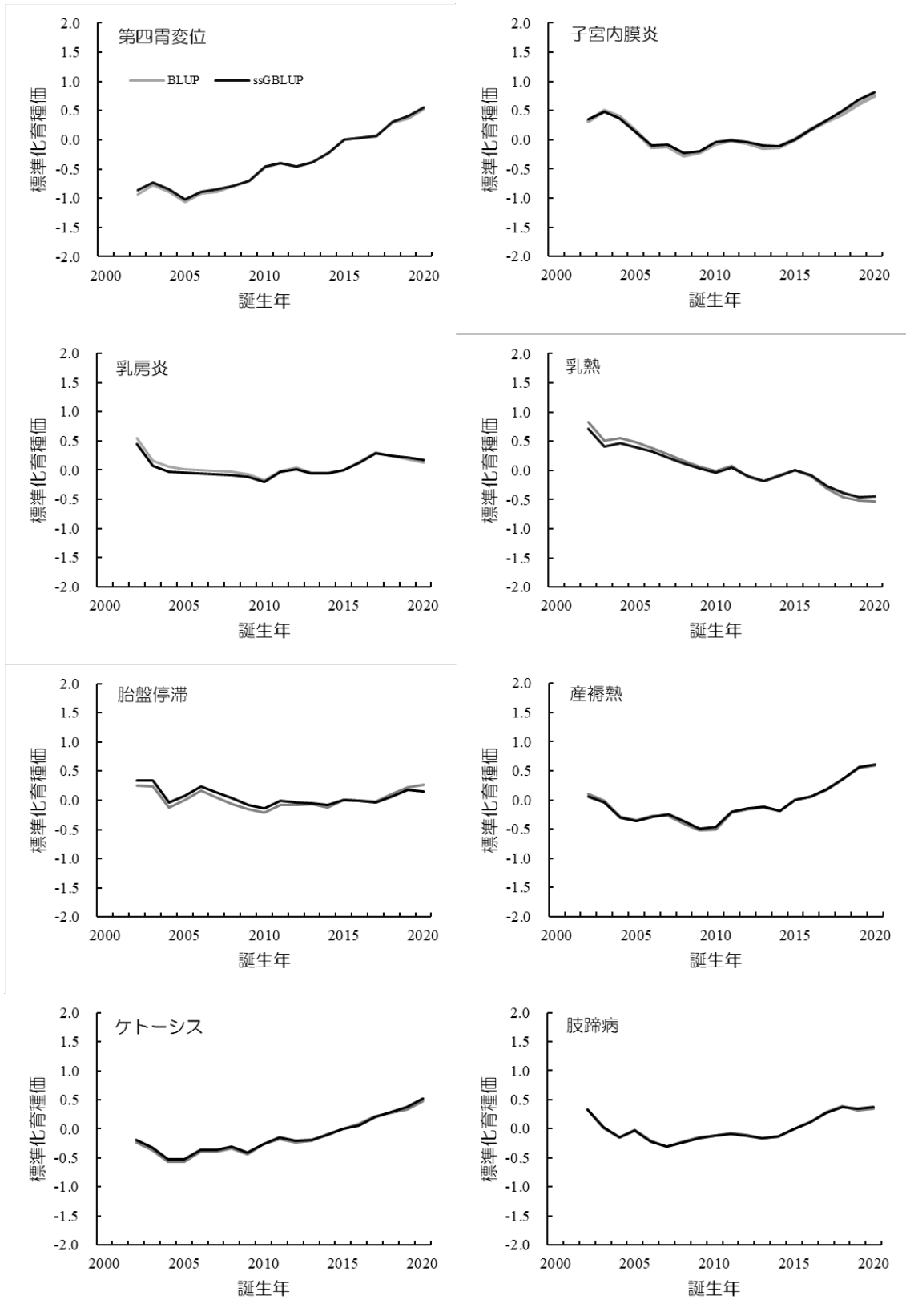


図 8-5. 記録を有する雌牛の遺伝的トレンド(初産から 5 産)

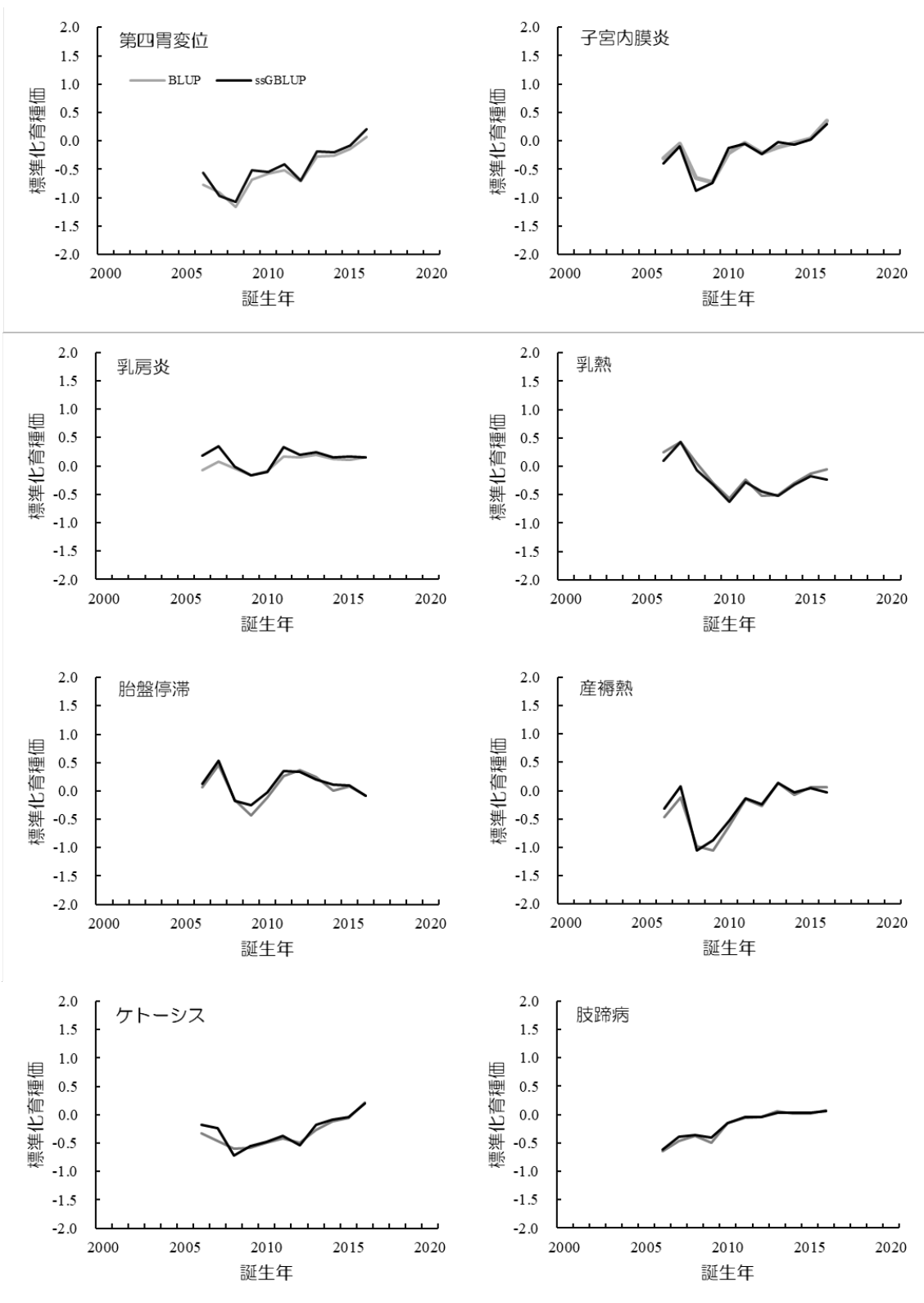


図 8-6. SNP データおよび記録を有する雌牛の遺伝的トレンド(初産から 5 産)

第9章 疾病形質に影響するゲノム領域の探索

1. はじめに

疾病形質の遺伝率は低く、泌乳形質や体型形質に比べると改良効率が低い。そのため、疾病形質に対して影響を及ぼす量的遺伝子座(QTL)が存在するならば、その QTL は耐病性の育種選抜を実施する上で有用な指標になると期待される。疾病形質に影響する遺伝子の同定や QTL の探索は、過去より多くの研究が行われてきた(Freebarn ら 2020; Soares ら 2021)。国内では Sugimoto ら(2006)が 22 番染色体上に乳房炎抵抗性に影響する遺伝子を検出したが、国内のホルスタイン集団における大規模な疾病データを利用した QTL の探索はほとんど行われていない。本章ではゲノムワイド関連解析(GWAS)を実施し、疾病形質に影響を及ぼすゲノム領域を調査することを目的とした。

2. 分析方法

(1) 分析データ

前章の分析に利用した初産、そして初産から 5 産のデータセットを用いて GWAS をそれぞれ行った。SNP データには、対象とした形質の記録を有する雌牛および雌牛の父牛および母方祖父牛のものを利用した。欠測の遺伝子型はインピュテーションを行い事前に補完し、マイナーアレル頻度が 0.05%以上の条件を満たした約 4 万箇所の SNP を GWAS に利用した。表 9-1 には、各形質の分析に利用したジェノタイプ頭数を性別ごとに示した。

表 9-1. GWAS に利用したジェノタイプ頭数¹

形質	初産		初産-5産	
	雄	雌	雄	雌
第四胃変位	4,857	19,241	4,887	19,885
子宮内膜炎	4,666	13,610	4,694	14,057
乳房炎	4,861	19,365	4,890	20,015
乳熱	4,857	19,180	4,884	19,821
胎盤停滞	4,766	15,984	4,796	16,482
産褥熱	4,849	19,006	4,877	19,622
ケトーシス	4,858	19,152	4,887	19,787
肢蹄病	4,858	19,275	4,887	19,911

¹雄：記録を有する雌牛の父牛あるいは母方祖父牛；雌：記録を有する雌牛

(2) GWAS

本分析では、シングルステップの BLUP(ssGBLUP)法により得られた SNP データを有する個体全てのゲノミック評価値を用いて GWAS を実施した(Wang ら 2012)。ゲノミック評価値の推定は、初産データを利用した分析で単形質アニマルモデル、初産から 5 産までのデータを利用した分析で単形質の反復記録アニマルモデルで行った。考慮した効果の詳細は、第 6 章を参照されたい。シングルステップの GWAS

の手順を以下に示した(Wang ら 2012)。

- ① ssGBLUP 法により、ジェノタイプした個体のゲノミック評価値(\mathbf{a})を推定
- ② 次に、SNP 効果($\hat{\mathbf{u}}$)を $\hat{\mathbf{u}} = \mathbf{M}'\mathbf{G}^{-1}\mathbf{a}$ で推定した。ここで、 \mathbf{M} は各 SNP のアレル頻度で補正したマーカー行列、 \mathbf{G} はゲノミック関係行列である。
- ③ 10 個の隣接する SNP による領域に占める遺伝分散の割合(%)を調査し、影響を及ぼすゲノム領域を探索した。その式は、以下のように示すことができる。

$$\frac{\text{var}(\sum_{i=1}^{10} \mathbf{M}'\hat{\mathbf{u}}_i)}{\sigma_a^2} \times 100\%$$

ここで、 σ_a^2 は合計の遺伝分散である。

本分析では、遺伝分散の説明割合が0.2%以上であったゲノム領域は有意な影響をもつ領域と仮定した。そして、AnimalQTLdb(Hu ら 2022)を利用し、識別した領域内に疾病および疾病と関連すると考えられる形質が過去に報告されているか調査した。

3. 結果と考察

図 9-1 には初産データ、図 9-2 には初産から 5 産のデータを用いて GWAS を実行して得られたマンハッタンプロットを示した。また、表 9-2 および表 9-3 には、初産および初産から 5 産のデータを利用した GWAS の結果、遺伝分散を説明する割合が0.2%以上であったゲノム領域をそれぞれ示した。

第四胃変位では、初産において 18 番染色体の 56.1 から 60.8Mbp の領域に大きなピークが検出された。この領域のうち 60.1 から 60.8Mbp は、初産から 5 産の複数産次のデータを用いた GWAS でも遺伝分散の説明割合が 0.25%と高かった。過去の研究報告によると、この領域は機能的形質や分娩形質、さらには高さなど体型形質との関係性が検出されており、第四胃変位で同様に影響が示されたことは興味深い。しかしながら、第四胃変位は体のサイズに関連する多くの体型形質との遺伝相関が存在することから(第 7 章参照)、その遺伝的関連に起因してこの領域にピークが検出された可能性もある。複数産次の記録を利用した GWAS では、8 番染色体の 84.5 から 86.1Mbp、20 番染色体の 5.9 から 6.4Mbp にも遺伝分散の説明割合が比較的大きな領域が検出されたが、これらの領域は繁殖性や体重、さらには子宮内膜炎との関連が過去に報告されていた。

子宮内膜炎では、初産を利用した GWAS でのみ影響を有するゲノム領域が検出され、それは X 染色体上の領域(110.4 から 112.9Mbp)に存在した。この領域は鋭角性との関連が過去に報告されていることから、子宮内膜炎と鋭角性間の遺伝相関のために検出された可能性がある。

乳房炎に影響のある領域として、初産では 6 番染色体の 7.3 から 7.8Mbp、初産から 5 産では 19 番染色体の 7.3 から 7.8Mbp が識別された。6 番染色体上のこの領域は、乳房炎や体細胞スコアとの関連が多数の研究報告により見出されている。Olsen ら(2016)は本研究で識別した領域にある SNP を乳房炎に影響するマーカーとして検出し、その近傍にある GC(group-specific component)遺伝子を候補遺伝子として識別した。この遺伝子はビタミン D 結合タンパク質をエンコードし、免疫制御や乳生産に影響する役割を有している(Olsen ら 2106)。また、Freebem ら(2020)は GC 遺伝子が生存性に対しても同様に影響することを示した。したがって、この領域は乳房炎抵抗性および長命性の向上の双方で重要な役割を担っている可能性がある。また、19 番染色体上に識別した領域もまた体細胞スコアとの関連が検出されていることから、この領域の近傍にも乳房炎抵抗性に影響する遺伝子が存在するかもしれない。

乳熱および産褥熱では、初産の結果のみで影響を有するゲノム領域が観測された。乳熱で検出された領域は16番染色体上の56.3から56.7Mbpであり、第四胃変位との関連が過去に報告されていた。一方、産褥熱では25番染色体の領域(39.7から40.2Mbp)が比較的高い割合で遺伝分散に寄与していた(0.27%)。この領域は過去に受胎率や分娩難易との関連を示した報告はあるが、産褥熱を含む疾病との関連は報告されていない。難産は産褥熱の発生を高めるリスク要因であり、産褥熱を罹患すればその後の繁殖成績にも影響が生じると考えられる。形質間の因果関係を考慮した解析手法を利用すれば、この領域がどの形質と密接に関連があるのかより明確にできると期待される。

6番染色体および14番染色体の領域(93.2から93.9Mbpおよび53.1から53.5Mbp)は、ケトosisとの関連が検出された。6番染色体の識別した領域は、乳量や乳成分率を主とする多くの形質との関連の報告がある一方で、第四胃変位や乳房炎との関連も報告されている。また、14番染色体も同様に体重や乳蛋白質率との関連を見出した研究報告がある。しかしながら、ケトosisとの関連を示した報告は見つからなかった。過去の研究報告を踏まえると、このゲノム領域には泌乳および疾病などに多面的に影響を及ぼす遺伝子が存在する可能性がある。

胎盤停滞では、X染色体上に最大で0.34%の遺伝分散を説明する領域が観測された。この領域は米国の経済指数であるネットメリットや生産期間、さらには分娩難易など多数の形質との関連が示されているが(Coleら2011)、疾病形質との関連は見出されていない。胎盤停滞と同様に肢蹄病についても、X染色体に関連を示す領域(64.8から66.0Mbp)が検出された。本分析結果は性染色体上に疾病形質と関連する領域が存在することを示唆するが、性染色体と疾病形質との関連性を明らかにした研究報告は少なく、今後更なる解析を行う必要がある。

4. 結論

本章ではゲノムワイド関連解析を行い、疾病形質に影響を示すゲノム領域の調査を行った。初産および初産から5産のデータセットで共通して検出されたゲノム領域は第四胃変位のみであり、2つの結果で異なる傾向が示された。しかしながら、本結果で検出した領域には、過去の研究報告で同一疾病形質(例えば、乳房炎)について有意性が見出されているものも存在していた。検出した領域やその近傍にQTLや候補遺伝子の存在を識別するためには更なる解析が必要になるが、本研究はその予備分析という位置づけにおいて価値があると考えられる。

農済の疾病データを利用したゲノムワイド関連解析の実施は本分析が初めてと推測するが、疾病データはQTL探索や遺伝子解析を進める上で有用な情報であることが示された。

参考文献

- Cole JB., et al. 2020. Genome-wide association analysis of thirty one production, health, reproduction and body conformation traits in contemporary U.S. Holstein cows. *BMC Genomics* 12:1-17.
- Freebern E., et al. 2011. GWAS and fine-mapping of livability and six disease traits in Holstein cattle. *BMC Genomics* 21:1-11.
- Hu Z., et al. 2022. Bringing the Animal QTLdb and CorrDB into the future: meeting new challenges and providing

updated services. *Nucleic acids research* 50(D1):D956-D961.

Olsen H., et al. 2016. Fine mapping of a QTL on bovine chromosome 6 using imputed full sequence data suggests a key role for the group-specific component (GC) gene in clinical mastitis and milk production. *Genetics Selection Evolution* 48(1): 1-16.

Soares RAN., et al. 2021. Genome-wide association study and functional analyses for clinical and subclinical ketosis in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science* 104(9): 10076-10089.

Sugimoto M., et al. 2006. Evidence that bovine forebrain embryonic zinc finger-like gene influences immune response associated with mastitis resistance. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(17):3454-6459.

Wang H., et al. 2012. Genome-wide association mapping including phenotypes from relatives without genotypes. *Genetics Research* 94:73-83.

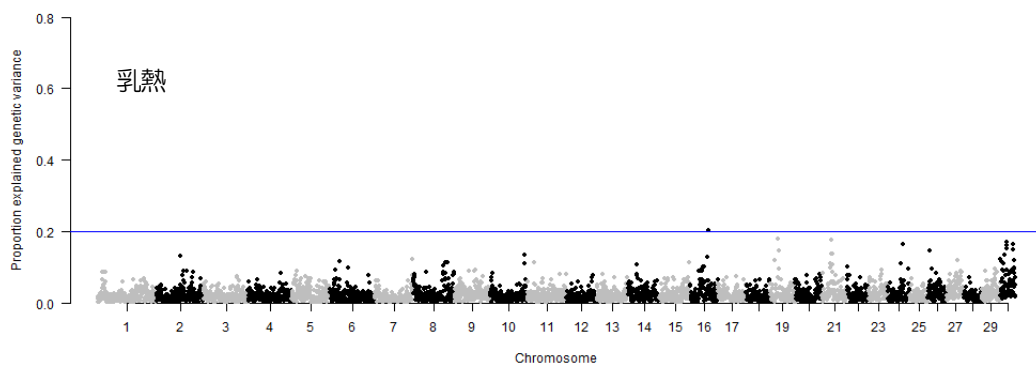
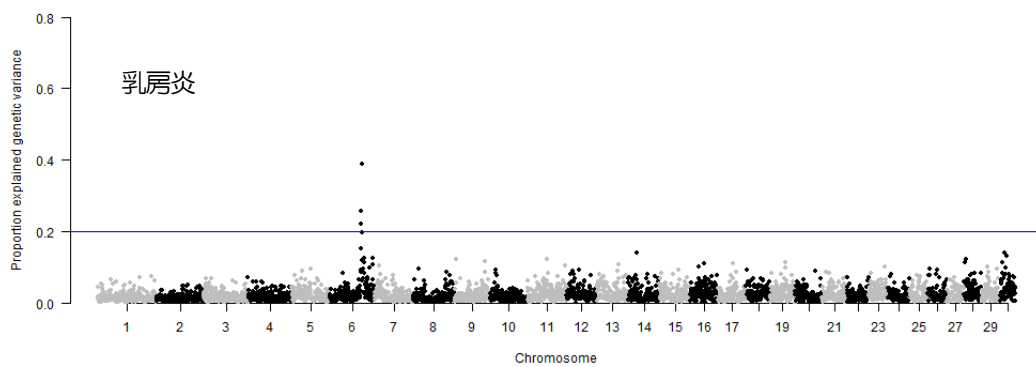
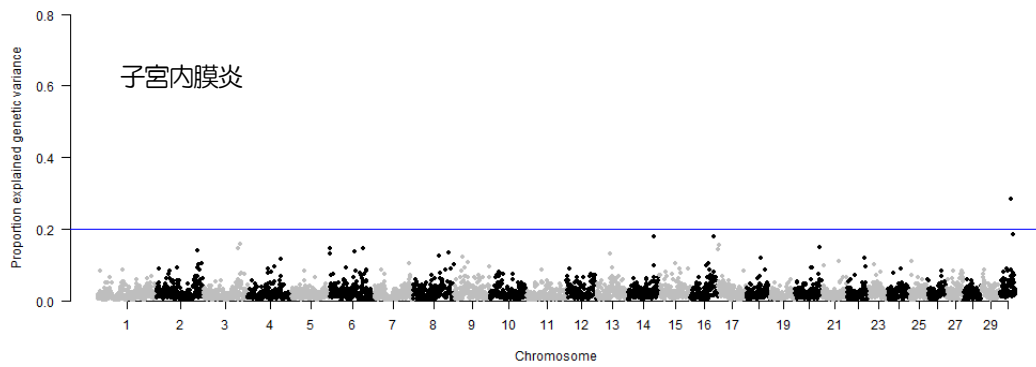
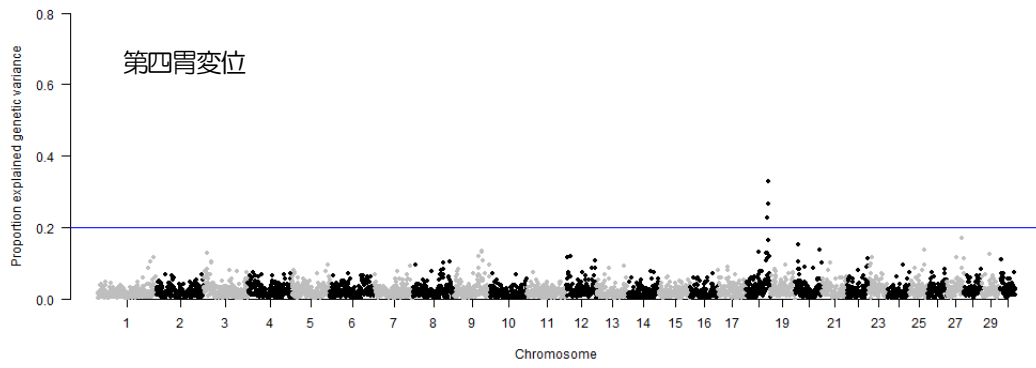


図 9-1A. 初産の疾病データを利用したゲノムワイド関連解析の結果

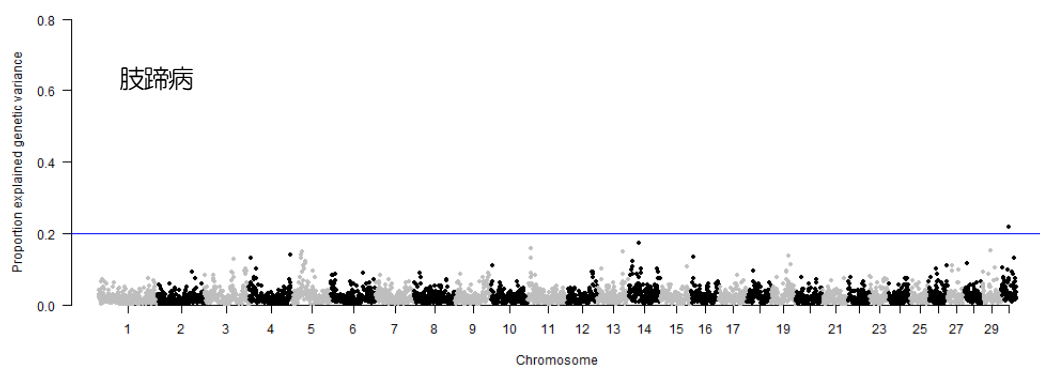
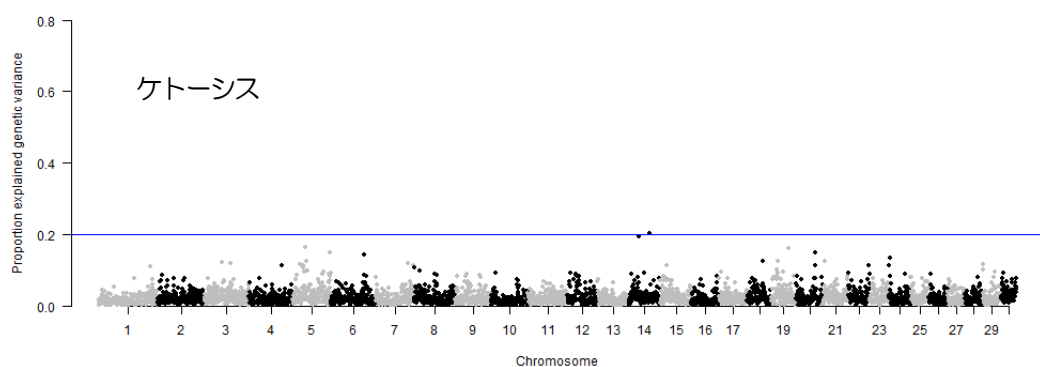
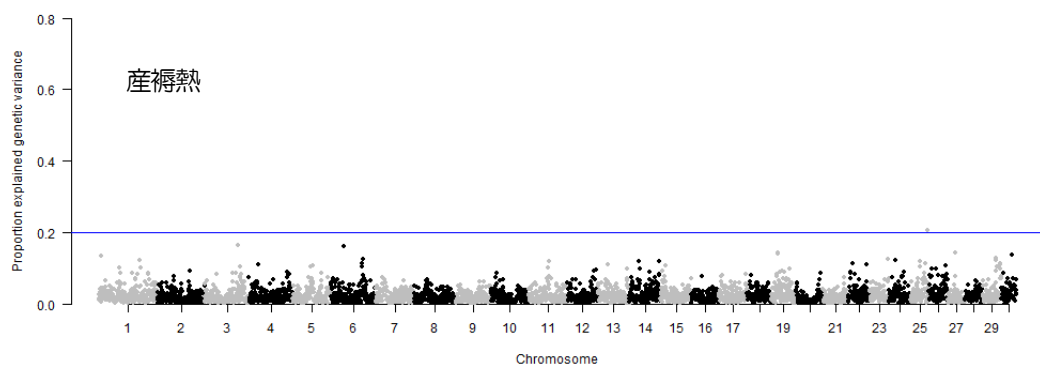
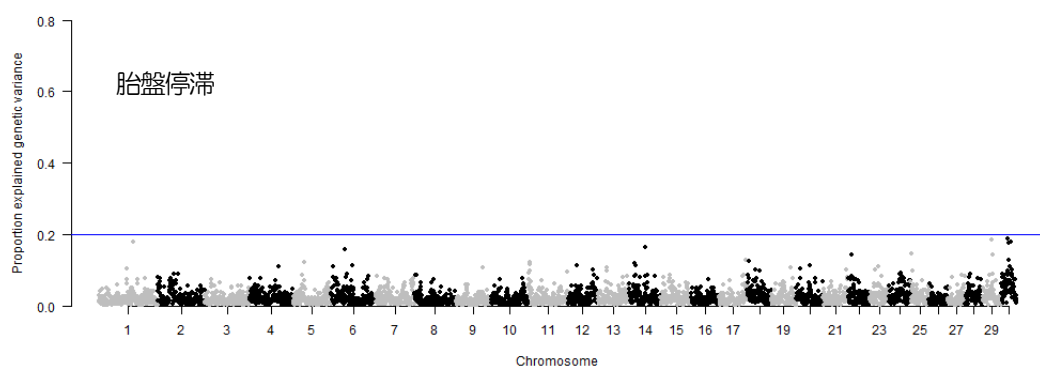


図 9-1B. 初産の疾病データを利用したゲノムワイド関連解析の結果

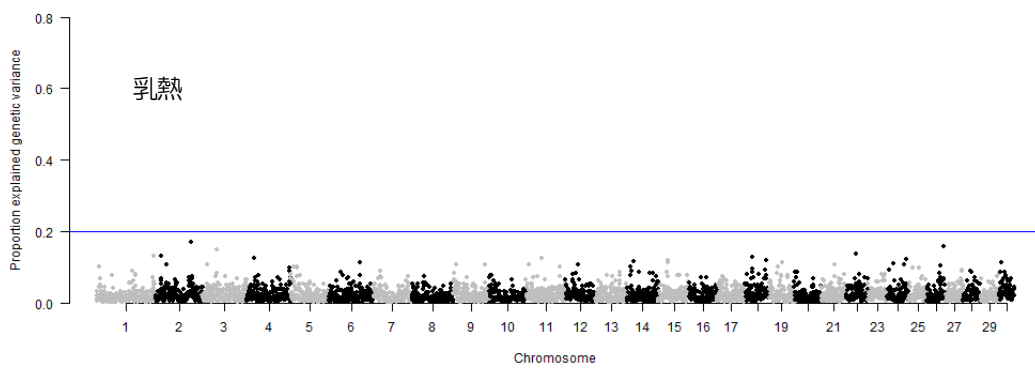
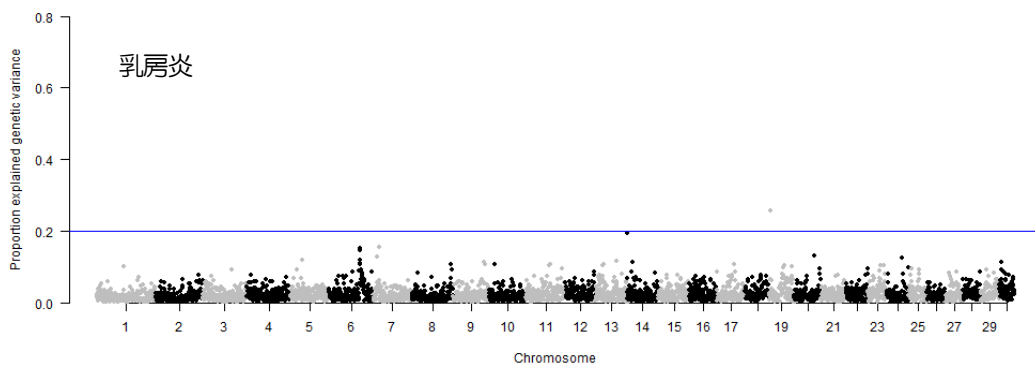
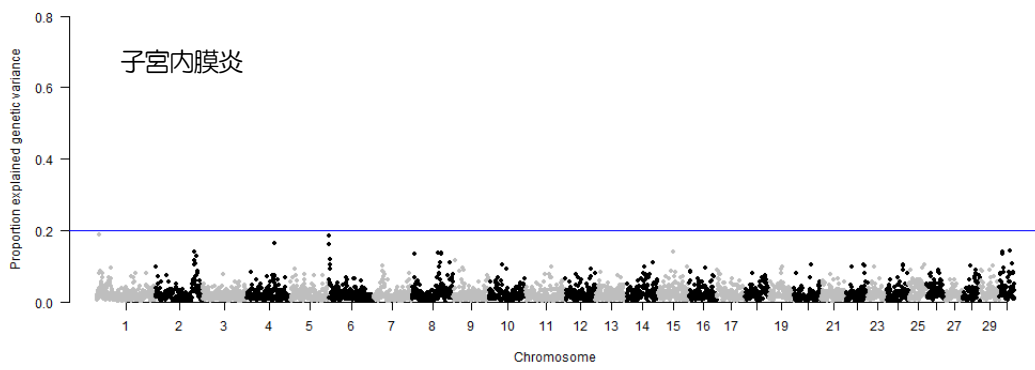
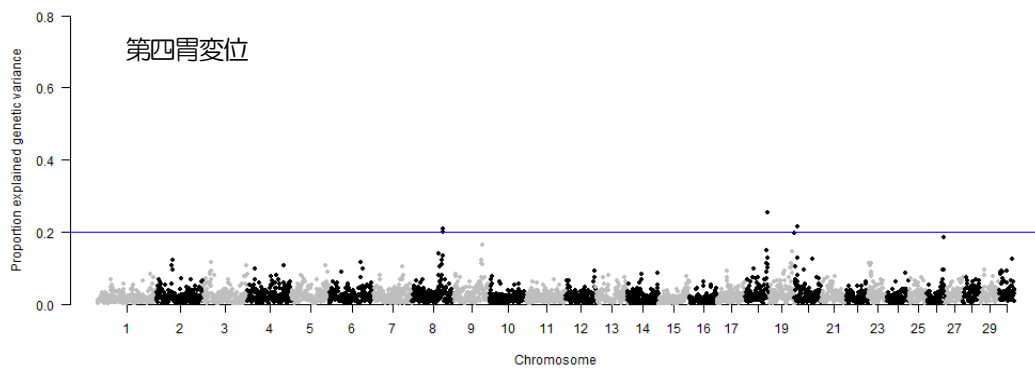


図 9-2A. 初産から 5 産の疾病データを利用したゲノムワイド関連解析の結果

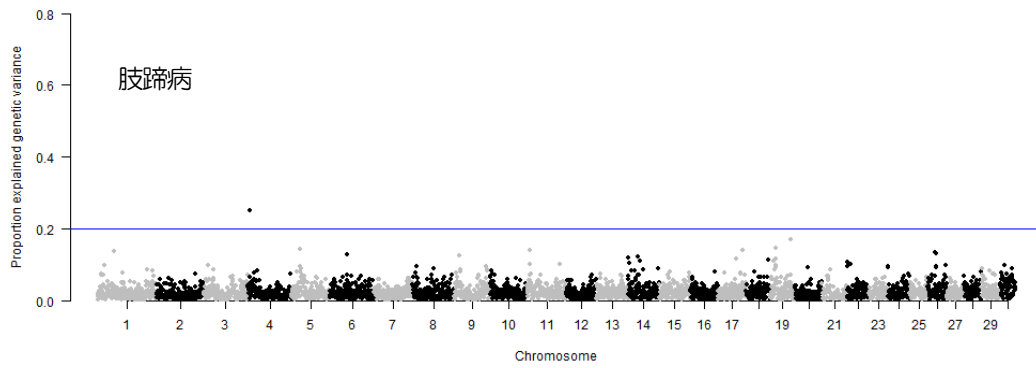
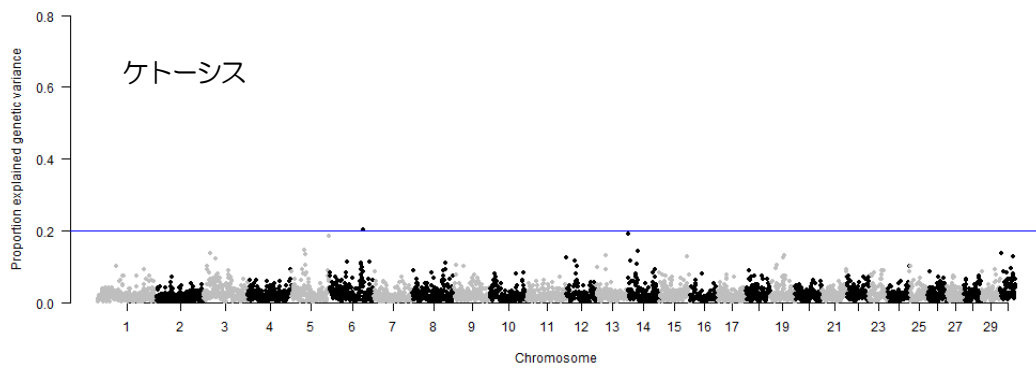
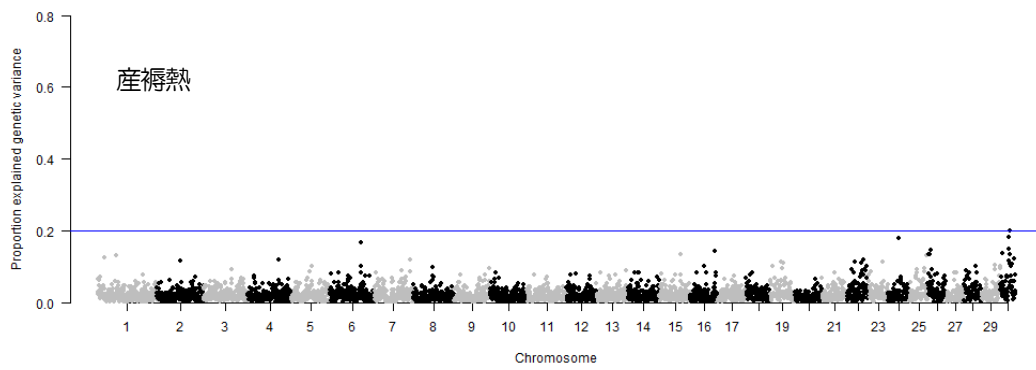
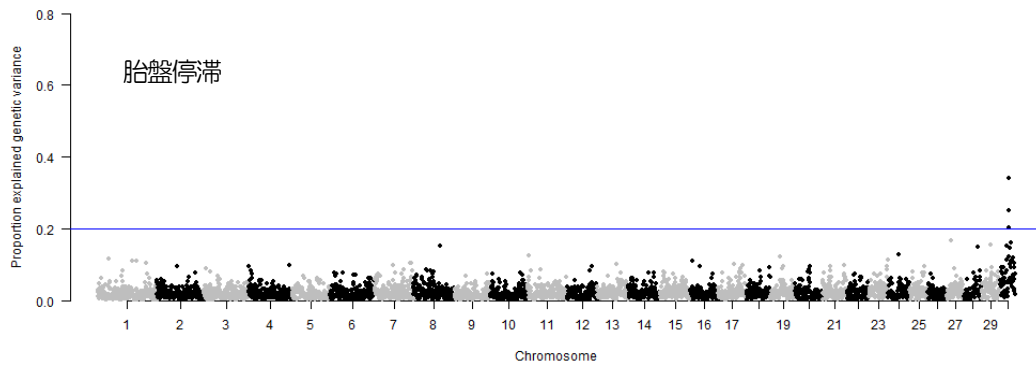


図9-2B. 初産から5産の疾病データを利用したゲノムワイド関連解析の結果

表 9-2. 遺伝分散を説明する割合が0.2%以上を占めたゲノム領域(初産のデータを利用)

形質	染色体	領域(bp) ¹	説明した分散の割合	関連が報告されている形質 ²
第四胃変位	18	56,179,705 ~ 56,702,312	0.23%	生存能力, 妊娠期間, 繁殖形質, 体の深さ, 成長形質, 分娩形質
	18	58,203,733 ~ 59,802,319	0.33%	
	18	60,103,953 ~ 60,854,919	0.27%	
子宮内膜炎	X	110,425,524 ~ 112,931,652	0.29%	鋭角性
乳房炎	6	84,666,227 ~ 85,527,109	0.22%	乳房炎, 体細胞スコア
	6	87,152,621 ~ 87,715,723	0.26%	
	6	88,442,145 ~ 89,251,522	0.39%	
乳熱	16	56,340,812 ~ 56,786,826	0.20%	第四胃変位
産褥熱	25	39,756,424 ~ 40,157,894	0.27%	繁殖性, 難産
ケトーシス	14	53,174,026 ~ 53,508,869	0.27%	体重, 乳蛋白質率
肢蹄病	X	64,812,622 ~ 66,043,924	0.28%	

¹UMD3.1

²AnimalQTLdb(Huら 2022)に基づく

表 9-3. 遺伝分散を説明する割合が0.2%以上を占めたゲノム領域(初産から5産のデータを利用)

形質	染色体	領域(bp) ¹	説明した分散の割合	関連が報告されている形質 ²
第四胃変位	8	84,508,357 ~ 85,117,915	0.21%	繁殖性, 体重
	8	85,578,043 ~ 86,128,908	0.20%	
	18	60,103,953 ~ 60,854,919	0.25%	
	20	5,987,334 ~ 6,445,208	0.22%	
乳房炎	19	7,376,840 ~ 7,833,508	0.26%	体細胞スコア
胎盤停滞	X	92,049,559 ~ 93,010,432	0.25%	生産期間, ネットメリット
	X	93,077,595 ~ 97,977,574	0.34%	
	X	100,161,904 ~ 104,393,600	0.20%	
ケトーシス	6	93,271,051 ~ 93,935,328	0.20%	第四胃変位, 繁殖形質, 乳量
肢蹄病	4	6,866,807 ~ 7,212,576	0.25%	生産期間, ネットメリット

¹UMD3.1

²AnimalQTLdb(Huら 2022)に基づく

第10章 わが国のホルスタイン雌牛集団における改良傾向の現状

1. はじめに

わが国の乳牛改良は1996年以降NTPを利用した選抜により進められてきた。2015年に改訂されたNTP(NTP₂₀₁₅)は産乳成分(乳脂量と乳タンパク質量)に対し70%、耐久性成分(肢蹄と乳房成分)に対し18%、さらに疾病繁殖成分(体細胞スコア、泌乳持続性および空胎日数)に対し12%の重みがそれぞれ配分されていることから、泌乳能力の改良を重視した選抜指数である。2013年からはゲノミック評価値が公表されたことから、わが国の乳牛改良は後代検定に加え一部、ゲノミック選抜の手法も取り入れられるようになった。このように選抜手法が変化する中、NTPは開発当初から一貫して泌乳能力の選抜を重視してきたが、わが国の酪農家が本当に泌乳能力の改良を重視しているかは、特に最近における調査が実施されていないため明確ではない。また今後も泌乳能力重視の改良方針でよいのかも検討していないことから、近い将来のNTP改正に備え酪農の現場の実態を確かめて置く必要がある。

「令和2年度乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究事業」ではホルスタインの雌牛集団に供用する種雄牛の選抜傾向を調査した。酪農家や家畜人工授精師が重視する改良形質の最近の傾向としては、泌乳能力の改良が期待できる種雄牛の供用が顕著になっていることが明らかになった。本分析では、前年の分析によって明らかになった種雄牛の供用傾向を受け、その結果生じるホルスタインの雌牛集団の選抜反応量(改良量)を調査した。

2. 分析方法

(1) 分析データの抽出

本分析で使用した雌牛の推定育種価(EBV)は、独立行政法人家畜改良センター(以下、NLBC)から2021年2月に公表された遺伝評価成績である。表10-1には分析に使用した主な形質における雌牛の生年別雌牛数を示した。1985年から2018年の期間に誕生し、かつ泌乳形質(泌乳持続性を含む)のEBVを持つ雌牛は合計4,188,172頭であり最も雌牛数が多い。1990年以降に生まれ体型のEBVを持つ雌牛数は乳器、決定得点および高さにおいて1,258,226頭であるが、1994年の審査標準改正によって体型形質が変更になっていることから、体貌と骨格および肢蹄等のEBVを保有する雌牛は1,227,522頭と若干少ない。その他、1985年以降に生まれ体細胞スコアのEBVを持つ雌牛は3,592,375頭であった。1990年以降に生まれ繁殖性および在群能力のEBVを持つ雌牛はそれぞれ3,447,259頭と3,187,853頭であった。なお、分析に使用したその他の形質についてはNLBC発行の「乳用牛評価報告」を参照願いたい。

表10-2には各形質におけるEBVの平均標準偏差と平均信頼度、遺伝標準偏差および遺伝的改良量(ΔG)を示した。分析に使用した形質は泌乳形質(乳量、乳成分および乳成分率)として7種類、体型形質として23種類(体型得点形質として5形質および線形形質として18形質)、繁殖形質として3種類(未経産受胎率、経産受胎率および空胎日数)および管理形質として5種類(体細胞スコア、泌乳持続性、在群能力、気質および搾乳性)、さらにNTP等の指数化された形質6種類の合計44形質であった。

(2) 分析に使用した遺伝評価形質と遺伝標準偏差の推定

表10-2に示した遺伝標準偏差(σ_g)とは遺伝分散の平方根のことである。本分析で使用する遺伝分散(σ_g^2)は真の育種価(a)と推定育種価(\hat{a})の相関($r_{a\hat{a}}$)が最大であると仮定し、以下の式から推定した。

表10-1. 分析に使用した主な形質における雌牛の生年別雌牛数

生年	泌乳形質	体型形質		体細胞 スコア	繁殖性	在群能力
		体型A	体型B			
1985	104,309			54,124		
1986	115,042			73,731		
1987	121,250			83,302		
1988	127,619			90,379		
1989	130,745			95,722		
1990	131,197	31,555	9,262	101,151	106,808	107,938
1991	127,724	38,017	29,670	102,162	103,710	105,191
1992	118,776	44,240	44,176	97,541	99,947	97,056
1993	117,992	46,497	46,497	100,045	101,249	95,513
1994	115,615	42,938	42,938	99,599	100,397	92,060
1995	112,894	47,322	47,322	98,916	99,701	88,933
1996	110,384	48,219	48,219	96,923	99,943	87,575
1997	110,224	49,449	49,449	96,869	102,413	88,981
1998	106,686	44,815	44,815	94,218	99,359	88,617
1999	107,063	42,925	42,925	94,849	99,227	92,068
2000	114,382	44,248	44,248	101,052	104,116	99,631
2001	117,739	44,884	44,884	104,632	107,971	106,999
2002	129,175	45,968	45,968	114,238	121,381	121,541
2003	135,252	46,846	46,846	120,953	128,069	128,862
2004	129,846	47,091	47,091	116,834	123,385	124,669
2005	133,684	47,111	47,111	121,596	127,428	128,729
2006	131,314	45,829	45,829	120,207	126,350	126,581
2007	122,619	45,307	45,307	112,964	119,508	118,311
2008	128,219	47,995	47,995	117,503	129,491	123,281
2009	133,900	46,499	46,499	122,632	136,617	129,148
2010	133,530	45,130	45,130	122,848	137,116	129,153
2011	128,842	44,502	44,502	118,835	132,983	124,717
2012	131,179	39,577	39,577	121,671	134,677	127,393
2013	134,359	36,212	36,212	124,761	138,607	130,508
2014	131,469	37,538	37,538	122,744	136,630	127,013
2015	130,710	44,336	44,336	122,216	135,397	125,501
2016	130,764	46,248	46,248	122,942	136,938	126,239
2017	133,551	44,737	44,737	126,412	138,978	123,366
2018	100,118	22,191	22,191	77,804	118,863	22,279
合計	4,188,172	1,258,226	1,227,522	3,592,375	3,447,259	3,187,853

体型A：1984年から体型審査を実施している形質(乳器、決定得点、高さ等)

体型B：1994年の審査標準改正後の形質(体貌と骨格、肢蹄等)

表10-2. 各形質における育種価の平均標準偏差と平均信頼度、遺伝標準偏差および2013年前後6年間の遺伝的改良量(ΔG)

形 質	育種価の 標準偏差	信頼度 の平均%	遺伝標準 偏差 σ_g	2008 - 2013		2013 - 2018	
				ΔG	ΔG/ σ_g	ΔG	ΔG/ σ_g
乳 量	532	63.3	669	54.96	0.082	67.79	0.101
乳脂量	19.0	61.4	24.2	2.30	0.095	3.60	0.148
乳タンパク質量	13.3	58.3	17.5	1.84	0.106	3.16	0.181
無脂固形分量	39.7	60.3	51.1	4.59	0.090	7.44	0.145
乳脂率	0.184	75.0 ¹⁾	0.213	0.002	0.007	0.009	0.044
乳タンパク質率	0.097	75.0 ¹⁾	0.112	0.000	0.004	0.009	0.082
無脂固形分率	0.128	73.0 ¹⁾	0.150	-0.003	-0.017	0.014	0.097
体貌と骨格	0.694	50.3	0.978	0.075	0.076	0.016	0.016
肢蹄(得率)	0.340	36.8	0.560	0.039	0.069	0.018	0.031
乳用強健性	0.576	49.9	0.815	0.056	0.069	0.011	0.014
乳 器	0.520	43.1	0.792	0.110	0.139	0.090	0.114
決定得点	0.474	45.8	0.701	0.090	0.128	0.062	0.089
高 さ	0.726	62.5	0.918	0.096	0.104	0.060	0.066
胸の幅	0.277	47.3	0.402	0.019	0.047	0.012	0.030
体の深さ	0.339	52.8	0.466	0.016	0.034	-0.001	-0.002
鋭角性	0.202	43.2	0.308	0.021	0.068	0.006	0.018
尻の角度	0.376	56.8	0.500	0.006	0.012	-0.015	-0.029
坐骨幅	0.380	55.5	0.510	0.034	0.067	0.031	0.061
後肢側望	0.228	44.2	0.343	-0.006	-0.016	-0.003	-0.009
後肢後望	0.272	37.6	0.444	-0.001	-0.001	-0.012	-0.028
蹄の角度	0.126	33.3	0.219	0.001	0.006	0.013	0.062
前乳房の付着	0.267	44.8	0.399	0.042	0.105	0.037	0.092
後乳房の高さ	0.328	47.3	0.477	0.058	0.121	0.049	0.103
後乳房の幅	0.190	43.2	0.290	0.021	0.072	0.010	0.036
乳房の懸垂	0.271	43.1	0.413	0.008	0.021	-0.005	-0.013
乳房の深さ	0.404	58.8	0.527	0.066	0.125	0.067	0.128
前乳頭の配置	0.420	55.2	0.565	0.032	0.057	0.021	0.037
前乳頭の長さ	0.467	55.6	0.626	-0.011	-0.017	-0.007	-0.011
後乳頭の配置	0.421	51.3	0.587	0.016	0.027	0.008	0.013
ボディコンディション	0.277	44.8	0.413	-0.014	-0.034	-0.002	-0.005
体細胞スコア	0.233	37.3	0.382	-0.004	-0.009	-0.005	-0.013
泌乳持続性	1.027	55.9	1.373	0.046	0.034	0.097	0.071
未経産受胎率	2.748	29.4	5.072	-0.423	-0.083	-0.476	-0.094
経産受胎率	4.011	31.8	7.109	-0.407	-0.057	-0.152	-0.021
空胎日数	10.21	34.1	17.50	0.670	0.038	-0.367	-0.021
在群能力	0.046	38.1	0.075	0.004	0.052	0.007	0.088
気 質	1.301	30.0 ¹⁾	2.374	-0.064	-0.027 ³⁾	0.024	0.010
搾乳性	1.141	35.0 ¹⁾	1.929	-0.004	-0.002 ³⁾	0.004	0.002
NTP	666	57.5 ²⁾	877	119.6	0.136	181.1	0.206
産乳成分	658	59.4 ²⁾	854	92.7	0.109	154.4	0.181
耐久性成分	132	43.5 ²⁾	200	29.4	0.147	22.9	0.115
疾病繁殖成分	74.9	35.9 ²⁾	125	-2.4	-0.019	4.3	0.035
乳代効果	46,928	61.1 ²⁾	60,022	5,558	0.093	7,861	0.131
長命連産効果	34,136	59.4 ²⁾	44,287	6,926	0.156	6,156	0.139

1) 過去に推定した値

2) rGr/vGvにより信頼度を推定

3) 記録が少ないため、2010年から2013年の範囲

$$\sigma_g^2 = \hat{\sigma}_a^2 / r_{aa}^2$$

ここで、 $\hat{\sigma}_a^2$ は雌牛集団における推定育種価(EBV)の標準偏差を二乗した値、 r_{aa}^2 は雌牛集団におけるEBVの平均信頼度である。NTP等の指数化された形質6種類の信頼度は、以下の行列計算によって推定した。

$$REL_{NTP} = \mathbf{r}'\mathbf{G}\mathbf{r}/\mathbf{v}'\mathbf{G}\mathbf{v}$$

ここで、 REL_{NTP} はNTPの信頼度、 \mathbf{G} は各指数に含まれる形質間の遺伝相関行列、 \mathbf{r} は各形質における相対的重み付けと信頼度の平方根の積のベクトル、 \mathbf{v} は各形質における相対的重み付けのベクトルである。

遺伝標準偏差の変化を調べるため、図10-1には雌牛の生年に対する乳量と決定得点の平均信頼度の変化を示した。乳量の平均信頼度は1985年から2016年まで62.0%から63.4%の範囲にあったが、それ以降は急速に低下した。決定得点の平均信頼度は、2013年まで44.7%から45.6%の範囲にあったが、2014年以降47.3%から48.1%の範囲で若干上昇を示した。乳量の場合、若い世代の雌牛の平均信頼度が低下した原因としては記録数が少ないこと、SNP情報を持つ雌牛頻度が少ないためと推察された。一方、決定得点を持つ雌牛は比較的SNP情報を保有している頻度が高いと推測されることから、若い世代において平均信頼度が若干上昇したと推測された。

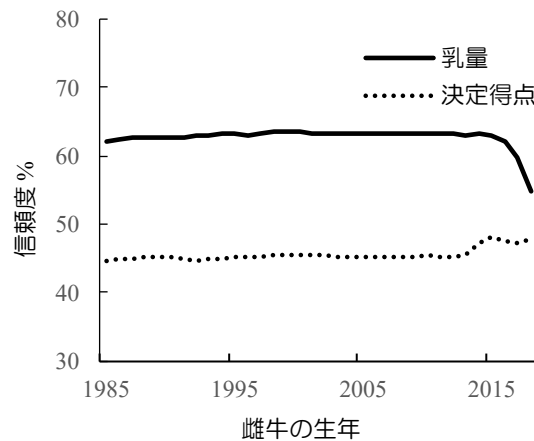


図10-1. 乳量、乳脂量、乳タンパク質量および無脂固形分量における雌牛の育種価の標準偏差と遺伝標準偏差の変化

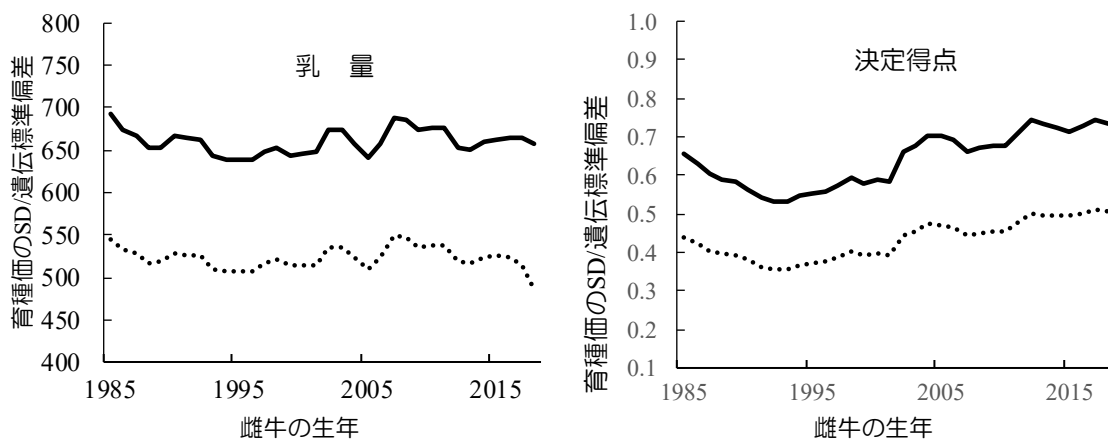


図10-2. 乳量、乳脂量、乳タンパク質量および無脂固形分量における雌牛の育種価の標準偏差と遺伝標準偏差の変化

図 10-2 には乳量と決定得点における雌牛の育種価の標準偏差と遺伝標準偏差の変化を示した。乳量と決定得点の遺伝標準偏差は信頼度を考慮することで、育種価の標準偏差よりも高く推定された。また、理論的に遺伝分散は選抜によって徐々に低下すると言われるが、35 年間の乳量と決定得点の遺伝標準偏差は生年に対して若干の変動を示したが、明らかに低下するような傾向は認められなかった。それゆえ、わが国のホルスタイン集団は乳量と決定得点の選抜反応(改良)が今後も十分期待できることが推察された。EBV の平均信頼度と標準偏差は毎年、若干の変動が見られることから、育種価を標準化するために利用した遺伝標準偏差は比較的信頼度が安定している 2006 年から 2015 年の 10 年間の遺伝標準偏差の平均値を利用することにし、表 10-2 に EBV の平均標準偏差と平均信頼度および遺伝標準偏差を示した。

3. 結果と考察

(1) 泌乳形質の改良

図 10-3 には 1985 年以降に生まれた雌牛の乳量、乳脂量、乳タンパク質量および無脂固形分量における遺伝的トレンドを示した。それぞれの形質の改良量は 1985 年生れの雌牛の平均育種価をゼロとし、遺伝標準偏差を利用し標準化育種価(SBV : Standard Breeding Value)に変換して表示した。乳量は 1985 年以降、4 形質の中で改良速度が最も低く、その結果として年次を通じて遺伝的レベルが 4 形質の中で最も低い傾向を示した。乳脂量の遺伝的レベルは 1980 年代から 1990 年代にかけて最も高くなった時期があったが、乳タンパク質量と無脂固形分量の遺伝的改良量の上昇によって 1990 年代後期に乳タンパク質量、2000 年代中期には無脂固形分量に追い抜かれ、現在の遺伝的レベルは 4 形質中 3 番目に位置している。1985 年から 2018 年までの改良量は乳量において $0.107 \sigma_g$ /年、乳脂量において $0.105 \sigma_g$ /年、乳タンパク質量において $0.142 \sigma_g$ /年および無脂固形分量において $0.124 \sigma_g$ /年であり、乳タンパク質量の改良量が最も高かった。それにともない現在において最も遺伝的レベルが高い泌乳形質は乳タンパク質量であり 1985 年をゼロとした場合、2018 年生れの雌牛の遺伝的レベルは $4.84 \sigma_g$ であった。また、無脂固形分量、乳脂量および乳量の遺伝的レベルは 2018 年生れの雌牛において各々 $4.17 \sigma_g$ 、 $3.99 \sigma_g$ および $3.53 \sigma_g$ にそれぞれ上昇した。

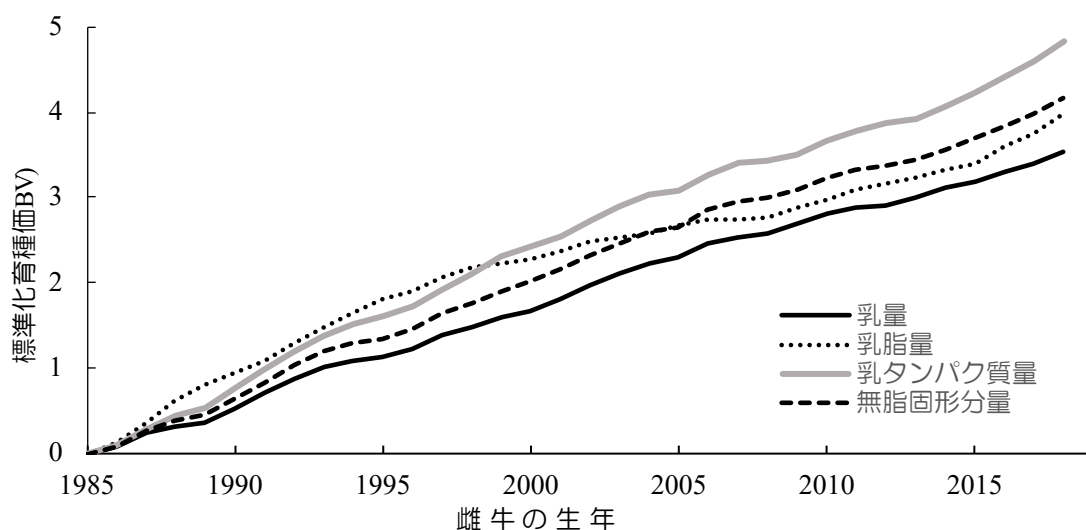


図10-3. 乳量、乳脂量、乳タンパク質量および無脂固形分量における雌牛の遺伝的トレンドの比較

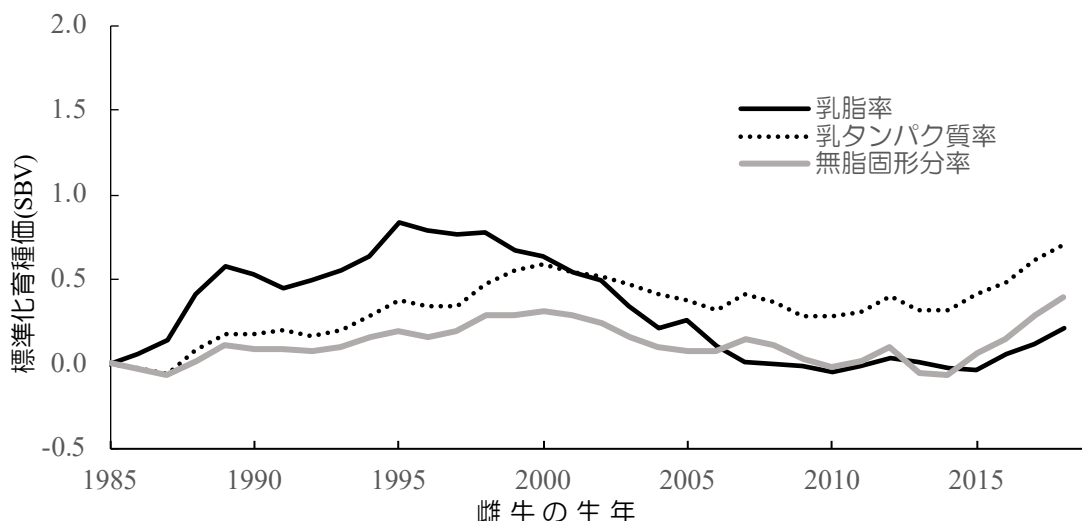


図10-4. 乳脂率、乳タンパク質率および無脂固形分率における雌牛の遺伝的トレンドの比較

図 10-4 には乳成分率の 3 形質における雌牛の遺伝的トレンドを示した。乳脂率の遺伝的トレンドは 1980 年から 1995 年頃まで上昇したが、その後は漸次低下を示し、その後 2015 年頃から再び上昇に転じる傾向が認められた。乳タンパク質率と無脂固形分率は 1985 年以降、1990 年代にかけて遺伝的トレンドが上昇を示したが、その後は乳脂率と同様に漸次低下を示し、2015 年頃から再び上昇傾向が見られるようになった。乳成分率の中で変動幅が比較的大きい形質は乳脂率であったが、その変動幅は $1\sigma_g$ 以下に過ぎず乳量や乳成分量の遺伝的トレンドと比較して非常に小さい変動であった。

(2) 在群能力、体細胞スコアおよび泌乳持続性の改良

図 10-5 には体細胞スコア、泌乳持続性および生産期間 84 の遺伝的トレンドを示した。3 形質の中で遺伝的トレンドが明確に見られた形質は泌乳持続性であった。泌乳持続性の改良量は 1985 年から 2018 年までの期間において $0.058\sigma_g/\text{年}$ であり、乳量の改良量 $0.107\sigma_g/\text{年}$ および乳タンパク質量の改良量 $0.142\sigma_g/\text{年}$ と比較して、それぞれ 54%と 40%の改良量に過ぎなかった。

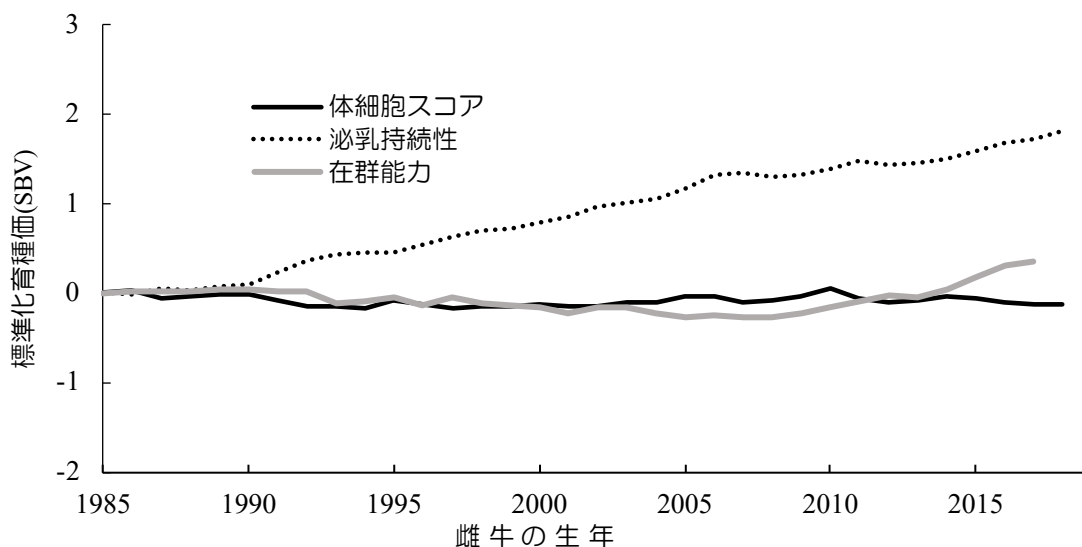


図10-5. 体細胞スコア(SCS)、泌乳持続性および生産期間84における雌牛の遺伝的トレンドの比較

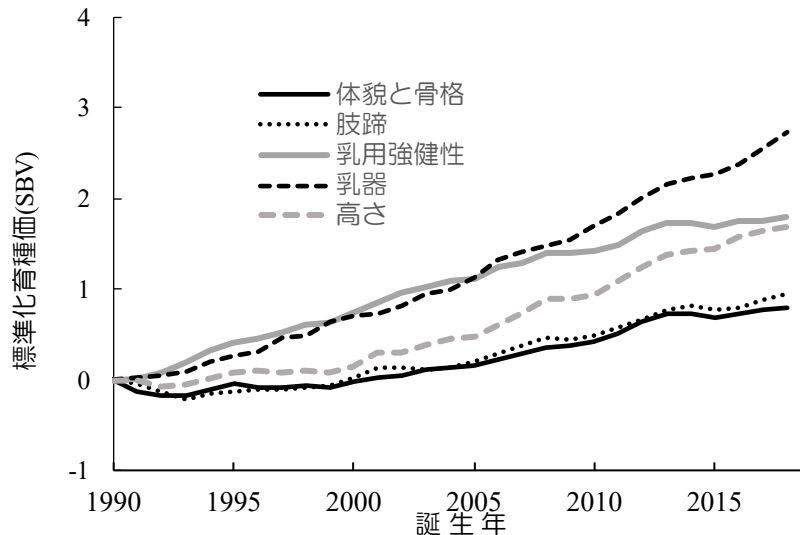


図10-6. 体貌と骨格、肢蹄、乳用強健性、乳器および高さにおける雌牛の遺伝的トレンドの比較

1985年から2018年までの体細胞スコアの年当たり改良量は $0.000\sigma_g/\text{年}$ であり、ほとんど遺伝的トレンドが認められなかった。ただし、最近10年間の改良量では $-0.009\sigma_g/\text{年}$ とわずかにマイナスの方向性が認められた。体細胞スコアと乳量との間には初産の記録で低い正の遺伝相関が存在するが、2産および3産になると負の遺伝相関が強くなる特徴がある。NLBCから公表されている体細胞スコアの育種価は初産記録のみから推定されているが、泌乳能力と同様に3産までの記録を利用した場合、体細胞スコアの遺伝的トレンドはもう少し明確にマイナスの傾向が見られるかもしれない、どのように変化するか興味がある。

在群能力の遺伝的トレンドは2010年頃までゆっくりと低下を示したが、それ以降は上昇傾向が見られるようになった。在群能力における最近10年間の遺伝的改良量は $+0.070\sigma_g/\text{年}$ であった。在群能力の遺伝的トレンドが上昇した背景には2009年にNLBCが在群期間(HL)の育種価を公表したこと、2013年の長命連産効果やゲノミック評価の実用化が影響している可能性がある。

(3) 体型形質の改良

図10-6には体型得点形質として体貌と骨格、肢蹄、乳用強健性、乳器および高さの遺伝的トレンドを示した。乳器の改良量は $0.099\sigma_g/\text{年}$ であり、2018年生れの遺伝的レベルは1990年の集団と比較して $2.721\sigma_g$ であり、5形質の中で最も改良が進んでいる形質であった。しかし、乳器の改良量は乳タンパク質量の改良量と比較すると約70%に留まっていた。

高さは体の大きさの遺伝的変化を調査するために使用した線形形質である。高さの遺伝的トレンドは2000年頃まで大きな変化を示さなかったが、それ以降は明らかな上昇傾向に転じ現在に至っている。大型化は生産寿命の短縮を招くとの研究報告があることから、体高の上昇は必ずしも望ましい改良ではないと考えられる。それゆえ、今後の体型改良としては大型化を抑制する選抜方法を検討する必要がある。高さは遺伝率が0.50程度あり非常に遺伝的な形質である。しかも体貌と骨格の得率と体高の間には正の遺伝相関が存在する。体貌と骨格は肢蹄とともに改良速度が低い傾向にあるが、体貌と骨格における上昇方向の遺伝的トレンドは体高を上昇方向に間接的に選抜している可能性が示唆された。

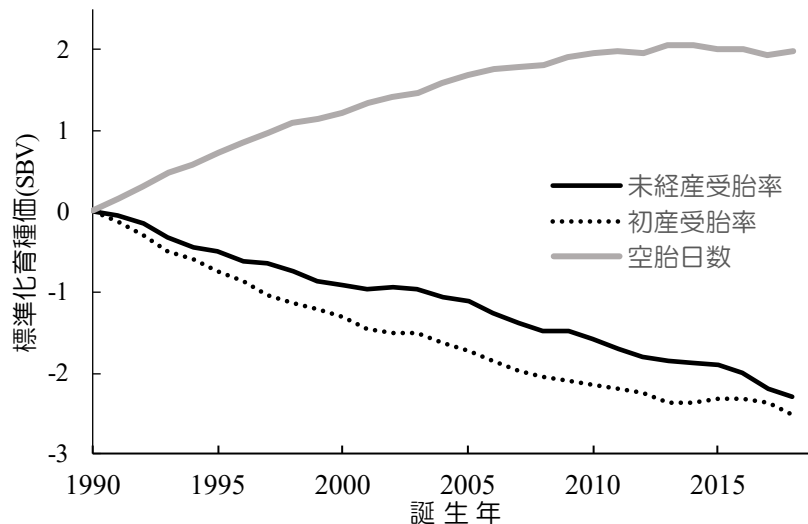


図10-7. 繁殖性の関連形質における雌牛の遺伝的トレンドの比較

乳用強健性は乳量・乳成分量と正の遺伝相関があり、1990年代には泌乳能力の改良とともに乳器よりも遺伝的レベルが高い時期もあった。しかし、最近になると乳用強健性の上昇傾向が停滞するようになってきた。その一因としては乳用強健性と生産寿命との間に存在する負の遺伝相関が影響しているかもしれない。在群能力の遺伝的トレンドが上昇していることから、乳用強健性の上昇が抑制されている可能性がある。肢蹄は遺伝率が低いことから選抜反応が鈍く、ここで示した体型5形質の中で体貌と骨格とともにゆっくりとした改良スピードを示した。

(4) 繁殖性の改良

図10-7には繁殖性の遺伝的トレンドを示した。空胎日数の遺伝的トレンドは1990年以降上昇を示したが、徐々に上昇傾向が鈍化するようになり、2010年頃から上昇が停滞するようになった。未経産受胎率の遺伝的トレンドは未だに低下傾向を示しているが、初産受胎率は2010年頃から低下が鈍化する傾向が顕著に見られるようになった。

繁殖性に関係する形質はいずれも遺伝率が低く、しかも経産牛の繁殖性は乳量や乳成分量との間に負の遺伝相関が存在するので、泌乳能力に対する選抜のみだと繁殖性が低下する可能性がある。それゆえ、泌乳能力に対して強い選抜が加えられている集団では同時に繁殖成績が低下しない選抜も同時に行う必要がある。NLBCは2014年に初回受精受胎率と空胎日数の育種価を公表したが、すでに北米から泌乳能力と繁殖性を同時に改良できる種雄牛の精液が輸入されていたこともあり、2000年代に入ると繁殖性の遺伝的低下が抑制されるようになり、ごく最近になると繁殖成績が改善される兆しが見え始めたのではないかと推測された。今後はSNP情報を利用したゲノミック育種価の利用により、遺伝率の低い繁殖形質に対しても選抜の正確度が向上すると考えられることから、繁殖性の改良が進むのではないかと推察された。

最近10年間を見ると経産牛の受胎率が $-0.037\sigma_g/\text{年}$ であるのに対し未経産受胎率は $-0.081\sigma_g/\text{年}$ と経産牛受胎率の2.2倍の速度で低下している。それゆえ、未経産牛受胎率の遺伝的低下については今後、経済的損失を最小限に抑制するためにも注視していく必要があるだろう。

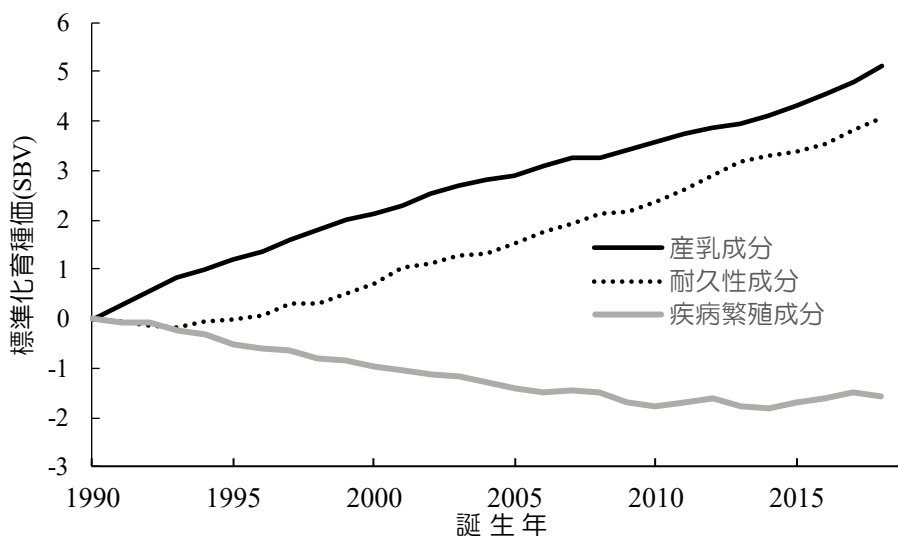


図10-8. 産乳成分、耐久性成分および疾病繁殖成分における雌牛の遺伝的トレンドの比較

(5) 選抜指数による改良

図10-8には、NTPを構成する産乳成分、耐久性成分および疾病繁殖成分における雌牛の遺伝的トレンドを示した。産乳成分の遺伝的トレンドは1990年から常に上昇を示した。産乳成分は乳脂量と乳タンパク質量から構成されているので、わが国のホルスタイン集団では泌乳能力に対して最も強い選抜が加えられていることが明らかである。耐久性成分は肢蹄と乳房成分から構成されている。耐久性成分の遺伝的トレンドも産乳成分と同様に上昇傾向を示した。一方、疾病繁殖成分の遺伝的トレンドは年次に対し低下を示した。しかし、その低下傾向は2010年頃から抑制され、2015年頃から若干だが上昇に転じた。疾病繁殖性成分を構成する形質の中で最も重みが大きい形質は空胎日数であり、疾病繁殖性の遺伝的トレンドは空胎日数の傾向と類似していた。

(6) ゲノミック評価後の影響

日本のゲノミック評価は2013年から開始した。ゲノミック育種価の利用は、選抜の正確度の向上と世代間隔の短縮が期待できる。理論的には特に父牛サイドの世代間隔の短縮と選抜の正確度の向上によって雌牛集団の改良が進むと言われている。国内種雄牛のヤングブルの活用はあまり進んでいないが、北米からゲノミックヤングブルの精液が輸入される状況が顕著に見られるようになった。そこで、図10-9にはゲノミック育種価が公表された2013年を境にその前後に生まれた各々6年間の雌牛の年当たり改良量をSBVにより表示した。なお、蹄の角度など中等度が望ましい形質は改良方向の説明が難しいので除外した。

乳量と乳成分量の各改良量は2013年を境に1.2倍(乳量)から1.7倍(乳タンパク質量)の範囲で上昇した。乳脂率の改良量は2013年以前と比較し6.0倍、乳タンパク質率では22.0倍に改良量が上昇した。無脂固形分率の改良量は2013年を境に負から正に転じた。体細胞スコアの改良量は負の方向を示し、その傾向は2013年を境に若干だが顕著に認められることから乳質についても遺伝的な改善が見られた。

改良量の上昇が顕著に観測されたその他の形質としては在群能力と泌乳持続性が挙げられるが、それぞれ改良量は1.7倍と2.1倍になった。気質と搾乳性は2013年以前まで負の遺伝的トレンドを示してい

たが、それ以後はわずかに上昇傾向が見られるようになった。繁殖性の中で空胎日数は2013年を境に減少に転じたが、経産受胎率は低下速度が減少したものの正の方向に転じるまでには至らなかった。一方、未経産受胎率の遺伝的トレンドは2013年以降、若干ではあるが低下傾向が顕著になったことから、未経産牛の繁殖性悪化につながらないか懸念されるところである。

体型形質の多くは2013年以前と比較して改良量の低下が見られた。特長としては体貌と骨格、頭・前中軀、高さ、胸の幅および体の深さの改良量が2013年以前の改良量と比較してそれぞれ0.21倍、0.63倍、0.64倍および-0.05倍に低下し、体の大型化のスピードが鈍化したことである。特に体の深さは上昇傾向が止まったと考えられる。肢蹄(得率)の改良量は2013年以前の改良量と比較し0.46倍に低下、後肢後望は負の改良量が顕著に見られるようになった。乳用性に関する乳用強健性や鋭角性の改良量についてもそれぞれ0.20倍と0.26倍に低下した。

乳房形質はほとんどが2013年以前の改良量と比較して改良量が低下した。特に乳房の懸垂は2013年以降において改良量が負の方向を示した。これは搾乳ロボット等の普及によって左右の乳頭の配置が接近するリスクを回避するため、意識的に選抜を緩めているのかもしれない。2013年以前よりもわずかに改良量が増加した体型形質は乳房の深さのみであった。このように、ゲノミック評価が開始した2013年を境に改良傾向を調査すると、泌乳形質の改良量が上昇した一方で、体型形質の改良量が低下する傾向が明確に認められた。

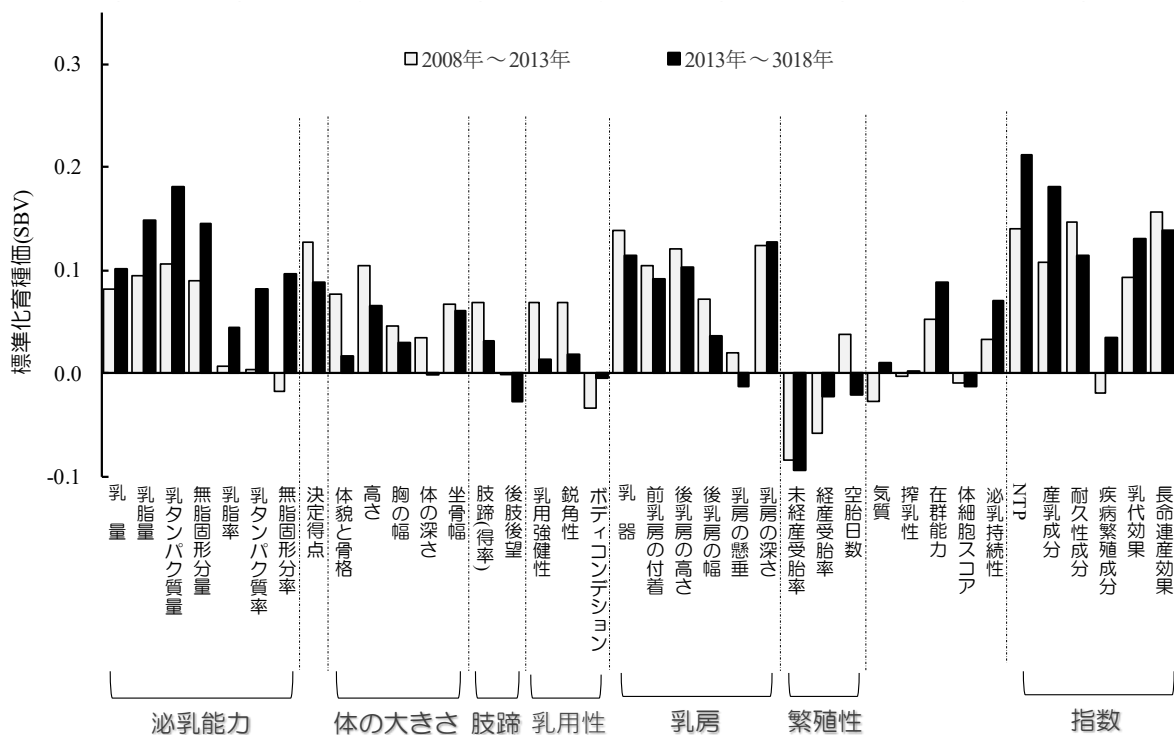


図10-9. ゲノミック評価値が公表された2013年以前と以後に生まれた各6年間の雌牛の遺伝的改良量の比較

4. 考察と結論

日本酪農は、つい最近まで後継者不足や甚大な自然災害などに見舞われ生産基盤の弱体化が懸念されていたが、2018年度以降は都府県に先駆けて北海道の生乳生産量が回復・増産を示し、2021(令和3)年度には都府県でも生乳生産の回復基調が認められるようになった。これら増産の大きな要因としては性選別精液の活用に加え畜産クラスター事業の積極的な参加による飼養環境の効率化や規模拡大等が挙げられるが、遺伝的改良による泌乳能力の向上も忘れてはいけない。どんなに飼養環境が整備されても、潜在的な泌乳能力の向上がベースにあってこそ実際の乳生産量が期待できるからである。

北米の研究によると、ゲノミック以後の改良量がほとんどの形質で大きく上昇していると報告されている。しかし、わが国の場合、ゲノミック以後の状況は乳量や乳成分の改良や繁殖成績で改善が見られたものの、体型形質は改良スピードが低下する傾向が見えてきた。このような遺伝改良の傾向は、生乳生産の基盤強化のため、すぐにでも増産が可能な泌乳能力や繁殖性の改良が優先した結果が原因ではないかと推察される。一方、長期的な生乳生産の維持を考えた場合は、育成期の管理費や飼料代を回収し、収益が得られるまで高能力を維持し産次を重ねながら泌乳を続ける雌牛集団が必要になる。そのためには泌乳能力に加え、機能的体型、繁殖性および疾病等の生産寿命の延長に影響を及ぼす形質についても計画的に選抜を加えることができるようNTPの見直しを行なう必要があると推察された。

第11章 種雄牛評価形質と娘牛数から推測される供用種雄牛の選抜傾向の変化

1. はじめに

NTPはホルスタインの種雄牛や雌牛を選抜するために利用される日本の総合指数である。供用可能種雄牛はNTPによって序列されているが、酪農家や人工授精師が実際にNTPの序列に従い供用種雄牛を選抜しているか、それともNTPとは異なる基準で種雄牛を選抜しているかは明らかでない。酪農現場で行われている供用種雄牛の選抜方針または基準を調査し明らかにすることは、今後NTPの見直しや改正を行うための基礎資料として有用な知見が得られるものと考えられる。

選抜された個体とは子孫を残すことができる個体のことであり、より強い選抜が加えられた個体は娘牛数がより多いと考えられる。そのため、酪農家や人工授精師がどのような形質に着目して種雄牛を選抜するかは、供用種雄牛の遺伝評価値と娘牛数の関係によって明らかになるのではないかと考えられる。本分析では各年に公表された種雄牛評価値と、それによって選抜され翌年生産された娘牛数との関係を分析し、酪農家や人工授精師などの供用種雄牛の選抜傾向について調査を行った。

2. 分析方法

(1) 分析データの抽出

本分析では全国の血統登録雌牛とその父牛の遺伝評価値を利用した。血統登録雌牛は2007年から2020年生れの雌牛2,849,151頭を抽出した(表11-1)。2020年生れの雌牛数は2020年12月15日までの登録証明データを抽出したため例年より少ない。

表11-1. 分析に使用するために抽出した娘牛の生年別の種雄牛数とその娘牛数

娘牛 生年	種雄牛			娘牛		
	頭数	抽出数	割合%	登録数	抽出数	割合%
2007	1,506	709	47.1	190,264	167,990	88.3
2008	1,532	752	49.1	202,077	181,239	89.7
2009	1,574	786	49.9	210,862	187,425	88.9
2010	1,554	749	48.2	209,318	185,073	88.4
2011	1,565	793	50.7	201,961	180,559	89.4
2012	1,572	798	50.8	204,804	184,593	90.1
2013	1,580	769	48.7	209,144	185,961	88.9
2014	1,575	738	46.9	201,585	175,719	87.2
2015	1,575	778	49.4	199,801	172,508	86.3
2016	1,592	801	50.3	202,484	170,714	84.3
2017	1,613	765	47.4	208,196	172,821	83.0
2018	1,565	768	49.1	216,753	185,924	85.8
2019	1,501	741	49.4	219,138	185,641	84.7
2020*	1,265	650	51.4	172,764	146,876	85.0
				2,849,151	2,483,043	87.2

*2020年12月15日までの登録証明データ

種雄牛評価値は(独)家畜改良センターが2006年から2019年に公表した国内種雄牛の遺伝評価値と海外種雄牛のMACE評価値である。国内種雄牛とはこの場合、年に2回、2月と8月に後代検定の結果に基づき選抜された供用可能種雄牛とその他に15歳未満の後代検定済種雄牛であれば公表される。海外種雄牛は4月、8月および12月の年3回、おもに10歳未満または直近まで輸入実績のある種雄牛評価値であればホームページで公表される。

一方、ゲノミックヤングブルについては国内の供用可能なものが常に十数頭と少ないことから分析対象から除外した。海外のゲノミックヤングブルはG-MACEに日本が未参加のため、日本の遺伝評価値の基準に合わせた国際評価値が提供されていない。そのため、日本のヤングブルと同様に本研究ではヤングブルの成績を分析対象に含めなかった。

酪農家や人工授精師は毎年公表される評価値を参考に供用可能種雄牛を選抜・交配し、授精後10ヵ月後に当該種雄牛の娘牛が生産される。そのため、種雄牛の選抜に利用した遺伝評価値と娘牛の生産時期のおおよその関係を維持するため、各種雄牛には毎年8月に(独)家畜改良センターから公表された後代検定済の種雄牛評価値と公表の翌年に生産された娘牛数を結合した。このデータ編集によって、分析に使用した種雄牛からは後代検定待機中の種雄牛、ゲノミックヤングブル、本交用のまき牛および15歳以上の高齢な種雄牛は分析から削除された。特に、後代検定待機中の種雄牛の娘牛は毎年合計で10,000頭前後生産されるが、例えば当該種雄牛がゲノミック評価されていたとしても、これら娘牛はランダム交配を基本とする調整交配により生産され、酪農家や人工授精師の意思により選抜された結果ではないので分析データから削除した。表11-1には分析に使用するために抽出した種雄牛数とその娘牛数を娘牛の生年別に示した。また、娘牛の父牛として抽出された種雄牛は複数年にわたり重複して抽出されている。

(2) 分析に使用した遺伝評価形質

分析には種雄牛評価値が公表されている各種指数6種類、泌乳形質7種類、体型形質23種類、繁殖形質4種類および管理形質4種類の合計44形質を利用した。日本で使用されている指数はNTPとそれを構成する産乳成分、耐久性成分および疾病繁殖成分、さらに乳代効果と長命連産効果を含む6種類である。ただし、産乳成分、耐久性成分および疾病繁殖成分は2010年以降、長命連産効果は2011年以降に公表された。また、海外種雄牛の乳代効果と長命連産効果は公表されていない。

泌乳形質の中で無脂固形分量(率)、体型形質の中で体貌と骨格、乳用強健性および後乳房の幅はそれぞれ国内種雄牛のみ評価値が公表されている。坐骨幅、後乳頭の配置、ボディコンディション、繁殖4形質および在群期間は2006年以降に公表を開始した形質である。繁殖形質において2産娘牛受胎率の種雄牛評価値は2019年以降公表していない。在群期間、気質および搾乳性はインターブルに参加していないのでMACE評価値が公表されていないが、(独)家畜改良センターが評価した種雄牛評価値が公表されている。

表11-2には形質ごとに遺伝評価値を持つ国内と海外の種雄牛頭数および国内種雄牛の割合を示した。乳量などの泌乳形質とSCS(体細胞スコア)の遺伝評価値は、分析用として抽出した供用種雄牛のすべてにおいて明らかであった。次に決定得点を始めとする体型形質の遺伝評価値が明らかでない種雄牛が多かった。国内種雄牛のほとんどは在群期間と初産受胎率の遺伝評価値が明らかであったが、海外種雄牛の場合は抽出された種雄牛の3割から5割が遺伝評価されていない。そのため、海外種雄牛に関するステップワイズ回帰分析では在群期間と初産受胎率の評価値を分析対象から削除した。

表11-2. 形質ごとの遺伝評価値を持つ国内と海外の種雄牛頭数および国内種雄牛の割合

娘牛 生年	国内種雄牛						海外種雄牛						*国内 種雄牛 の割合
	乳量	決定 得点	SCS	在群 期間	初産 受胎率	NTP	乳量	決定 得点	SCS	在群 期間	初産 受胎率	NTP	
2007	266	266	266	0	0	259	443	443	443	0	0	443	37.5
2008	273	273	273	0	0	267	479	479	479	0	0	479	36.3
2009	259	259	259	259	0	254	527	527	527	169	0	527	33.0
2010	232	232	232	232	0	228	517	517	517	179	0	517	31.0
2011	237	237	237	237	0	234	556	546	556	191	0	543	29.9
2012	223	223	223	223	0	220	575	570	575	205	0	566	27.9
2013	213	213	213	213	0	211	556	547	556	193	0	541	27.7
2014	195	195	195	195	0	193	543	532	543	212	0	526	26.4
2015	221	221	221	221	221	215	557	547	556	243	367	540	28.4
2016	226	226	226	226	226	221	575	561	575	246	327	558	28.2
2017	212	212	212	212	212	209	553	544	553	231	316	537	27.7
2018	224	224	224	223	224	223	544	523	544	235	267	523	29.2
2019	183	183	183	182	183	182	558	525	558	250	277	525	24.7
2020	156	156	156	156	156	156	494	471	494	225	471	471	24.0

*乳量の遺伝評価値を持つ種雄牛の割合

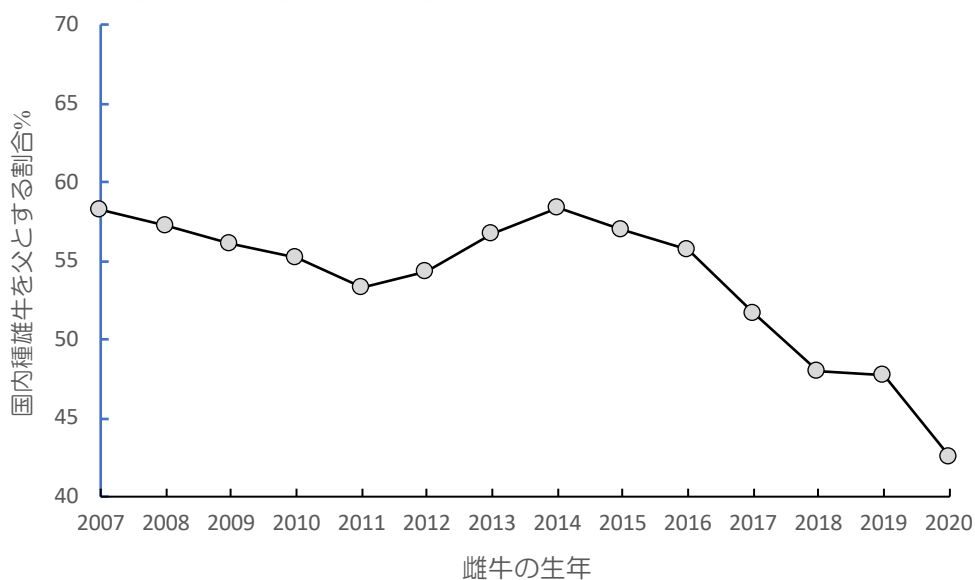


図11-1. 国内種雄牛を父牛に持つ雌牛の割合の変化

(3) 分析方法

遺伝改良を期待する形質が国内種雄牛と海外種雄牛において異なることも考えられることから、本分析では国内種雄牛と海外種雄牛にデータを分割して種雄牛の選抜の傾向を調査した。改良を望む形質には選抜が加えられ娘牛数が増えると考えられることから、選抜が加えられた当該形質の種雄牛評価値と

娘牛数との間には正または負の相関関係が生じるはずである。そこで、各形質における種雄牛評価値とその種雄牛の娘牛数の相関を求め、それらの年次的変化を調査した。次に、ステップワイズ回帰を使用し、種雄牛の娘牛数を説明することができる指数または形質を調査した。

3. 分析結果

(1) 分析に利用したデータ

牛の個体識別情報の出生報告に基づき推測すれば、北海道においてホルスタインとして血統登録される雌牛は、毎年出生する黒白斑牛のうち約95%を占める。さらに北海道で飼養されている黒白斑の雌牛はその93%がホルスタインの登録牛である。一方、都府県において黒白斑雌牛に占めるホルスタインの登録牛の割合は50%程度(推定)であり登録牛割合は北海道よりも少ない状況にある。しかし、登録率の高い北海道の乳牛飼養頭数は全国の60%以上を占めることから血統登録牛の集団を使用した調査はわが国のホルスタイン集団の改良傾向を網羅的に把握できるものと考えられる。また、血統登録牛のすべては生年月日と父牛が明らかであることから、本分析では血統登録雌牛のデータを利用した。

表 11-1 に示したとおり、父牛として出現した種雄牛は後代検定済に限定したため全種雄牛の46.9%から51.4%に留まったが、これにより抽出された娘牛2,483,043頭は全登録牛の87.2%を網羅している。ただし、娘牛数の割合は2007年から2020年まで徐々に減少傾向が見られるが、これは近年においてゲノミックヤングブルの輸入精液の供用が増加傾向にあるので、それが影響していると推測される。

図 11-1 には分析用として抽出した2,483,043頭の雌牛の中で、国内種雄牛を父牛とする雌牛の割合の変化を示した。国内種雄牛を父に持つ登録雌牛の割合は、2007年から2014年頃まで50%以上を維持したが、それ以降急激に低下を続け2020年生れの雌牛では42.5%に到っている。分析用データにはゲノミックヤングブルが除外されているが、それでも海外種雄牛の増加が顕著であった。酪農家や人工授精師が海外種雄牛に対してどのような形質の改良を求めているかに非常に興味を持たれるところである。

(2) 種雄牛評価値と娘牛数の相関

表 11-3 には国内種雄牛における各形質の種雄牛評価値と娘牛数の相関係数に関する正負符号と有意性を娘牛の生年別に示した。表 11-4 には海外種雄牛における同様な相関係数に関する正負符号と有意性を娘牛の生年別に示した。ここで、+** は1%の有意性を示した正の相関係数、+* は5%の有意性を示した正の相関、-** は1%の有意性を示した負の相関係数および-* は5%の有意性を示した負の相関係数である。これら4種類の記号で示した指数または形質は選抜圧が加えられている可能性があることから、海外種雄牛と国内種雄牛における主な形質の遺伝評価値と娘牛数の相関の年次変化を調査するため、それらを図 11-2 から図 11-8 に示した。また、表 11-5 には、各形質の種雄牛評価値と娘牛数の相関における年次に対する変化(傾き)および相関の最小と最大を示した。

図 11-2 には海外種雄牛と国内種雄牛における NTP、耐久性成分および疾病繁殖成分と娘牛数の相関の変化、図 11-3 には同様に産乳成分、乳量および乳脂量と娘牛数の相関の変化を示した。国内種雄牛は、NTP と娘牛数の間に0.28 から0.42 の範囲で相関が推定されたことから、年次を通じ NTP に対する一定の選抜が加えられていると考えられた。一方、海外種雄牛は0.18 から0.36 までの範囲で有意な相関が推定され、しかも年次に対して上昇傾向を示したことから、NTP による海外種雄牛の選抜が毎年顕著になりつつあることを示唆している結果と推察された。

表11-3. 国内種雄牛における各形質の種雄牛評価値と娘牛数の相関係数に関する正負符号と有意性

娘牛の誕生年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
NTP(総合指数)	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
産乳成分	.	.	.	.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
耐久性成分	.	.	.	.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
疾病繁殖成分	.	.	.	.	NS	+	+	NS	NS	NS	***	NS	NS	NS
乳代効果	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
長命連産効果	.	.	.	.	.	***	***	***	***	***	***	***	***	***
乳量	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
乳脂量	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
乳タンパク質量	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
無脂固形分量	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
乳脂率	+	+	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
乳タンパク質率	NS	NS	+	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
無脂固形分率	NS	NS	+	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS
体貌と骨格	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	NS	NS
肢蹄	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	+	***	+	NS
乳用強健性	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	+	NS	NS
乳器	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
決定得点	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	NS
高さ	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	NS	NS
胸の幅	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	NS	NS
体の深さ	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	NS	NS	NS
鋭角性	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	NS	NS	NS
尻の角度	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
坐骨幅	.	.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
後肢側望	NS	NS	NS	***	***	***	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
後肢後望	NS	***	+	NS	NS	+	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
蹄の角度	***	***	***	***	NS	NS	NS	NS	+	NS	NS	NS	NS	NS
前乳房の付着	***	***	***	***	***	***	***	***	NS	NS	NS	NS	+	+
後乳房の高さ	***	***	***	***	***	***	***	***	***	NS	NS	+	***	***
後乳房の幅	***	***	***	***	***	***	+	+	+	+	NS	NS	NS	NS
乳房の懸垂	***	***	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
乳房の深さ	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	+	***	+	NS
前乳頭の配置	***	+	***	***	+	+	NS	+	NS	NS	NS	NS	NS	NS
前乳頭の長さ	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
後乳頭の配置	.	.	***	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ボディコンディション	.	.	.	.	.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	+	NS	NS
未經産娘牛受胎率	.	.	.	.	.	.	.	.	NS	NS	NS	NS	NS	NS
初産娘牛受胎率	.	.	.	.	.	.	.	.	NS	NS	NS	NS	NS	NS
2産娘牛受胎率	.	.	.	.	.	.	.	.	NS	NS	NS	NS	NS	.
空胎日数	.	.	.	.	.	.	.	.	NS	NS	NS	NS	NS	NS
体細胞スコアSCS	NS	NS	NS	NS	NS	-*	-*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
在群期間	.	.	***	+	+	+	+	+	NS	NS	NS	***	+	+
気質	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
搾乳性	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

+:正の相関, -:負の相関

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, NS:有意性なし

表11-4. 海外種雄牛における各形質の種雄牛評価値と娘牛数の相関係数に関する正負符号と有意性

娘牛の誕生年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
NTP(総合指数)	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
産乳成分	.	.	.	.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
耐久性成分	.	.	.	.	***	***	***	***	***	+	***	***	***	NS
疾病繁殖成分	.	.	.	.	+	+	***	***	***	NS	NS	NS	NS	NS
乳代効果	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
長命連産効果	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
乳量	***	+	+	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
乳脂量	+	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
乳タンパク質量	***	+	+	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
無脂固形分量	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
乳脂率	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
乳タンパク質率	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
無脂固形分率	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
体貌と骨格	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
肢蹄	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	NS
乳用強健性	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
乳器	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
決定得点	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
高さ	***	***	***	+	***	***	***	NS	NS	+	NS	NS	+	NS
胸の幅	***	+	NS	NS	NS	+	+	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
体の深さ	***	***	NS	NS	NS	+	+	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
鋭角性	***	***	NS	NS	NS	+	***	***	NS	NS	NS	***	***	***
尻の角度	NS	NS	NS	+	+	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
坐骨幅	.	.	NS	NS	NS	NS	***	+	NS	***	NS	NS	+	NS
後肢側望	NS	NS	NS	***	-*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
後肢後望	+	***	***	***	NS	+	***	+	***	***	NS	+	NS	NS
蹄の角度	+	+	NS	+	***	NS	NS	NS	NS	NS	***	***	NS	NS
前乳房の付着	***	***	+	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	NS
後乳房の高さ	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	+
後乳房の幅	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
乳房の懸垂	+	***	+	NS	+	***	***	***	+	NS	NS	NS	NS	NS
乳房の深さ	+	***	***	***	***	***	+	+	***	***	+	+	***	NS
前乳頭の配置	NS	NS	***	+	+	+	NS	+	***	***	NS	NS	NS	NS
前乳頭の長さ	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
後乳頭の配置	.	.	+	NS	NS	NS	NS	+	***	NS	NS	NS	NS	NS
ボディコンディション	.	.	.	.	.	NS	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	-*
未經産娘牛受胎率	.	.	.	.	.	.	.	.	NS	***	***	***	***	NS
初産娘牛受胎率	.	.	.	.	.	.	.	.	NS	NS	NS	***	***	NS
2産娘牛受胎率	.	.	.	.	.	.	.	.	NS	-*	NS	-*	***	.
空胎日数	.	.	.	.	.	.	.	.	NS	NS	NS	+	+	NS
体細胞スコアSCS	NS	NS	NS	NS	-*	-*	***	***	***	***	***	-*	NS	-*
在群期間	.	.	NS	NS	+	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
気質	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***
搾乳性	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

+:正の相関, -:負の相関

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, NS:有意性なし

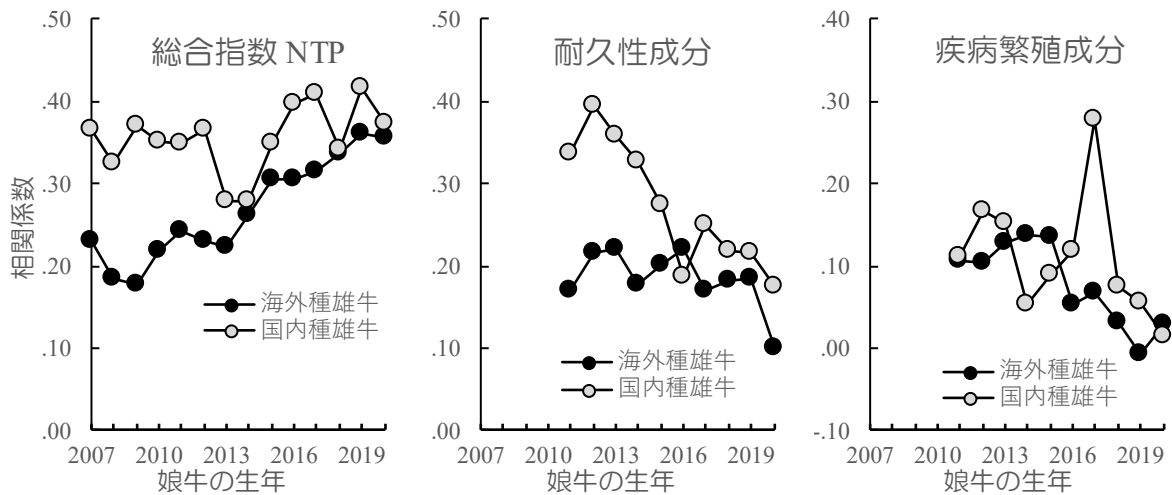


図11-2. 国内種雄牛と海外種雄牛におけるNTP、耐久性成分および疾病繁殖成分と娘牛数の相関の変化

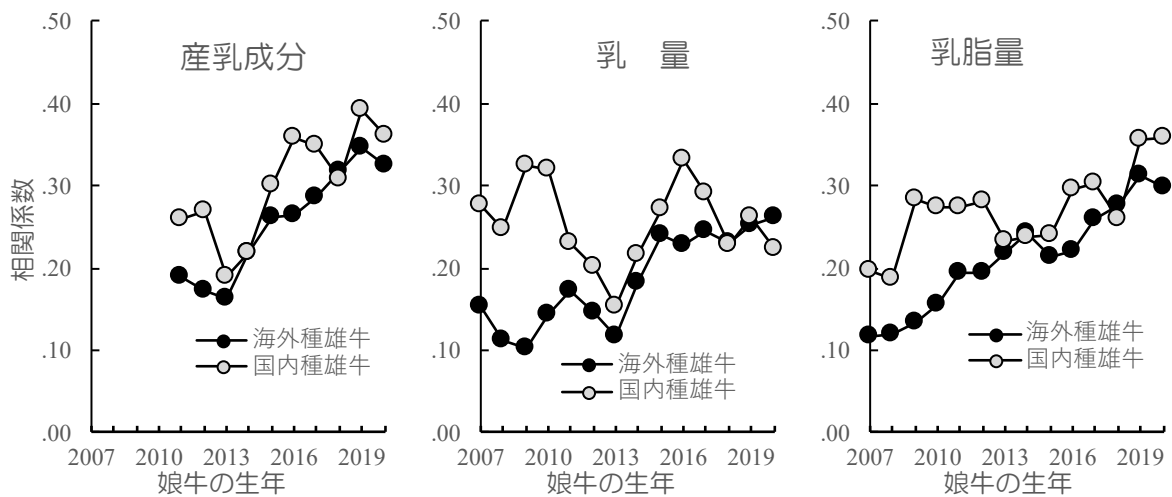


図11-3. 国内種雄牛と海外種雄牛における産乳成分、乳量および乳脂量と娘牛数の相関の変化

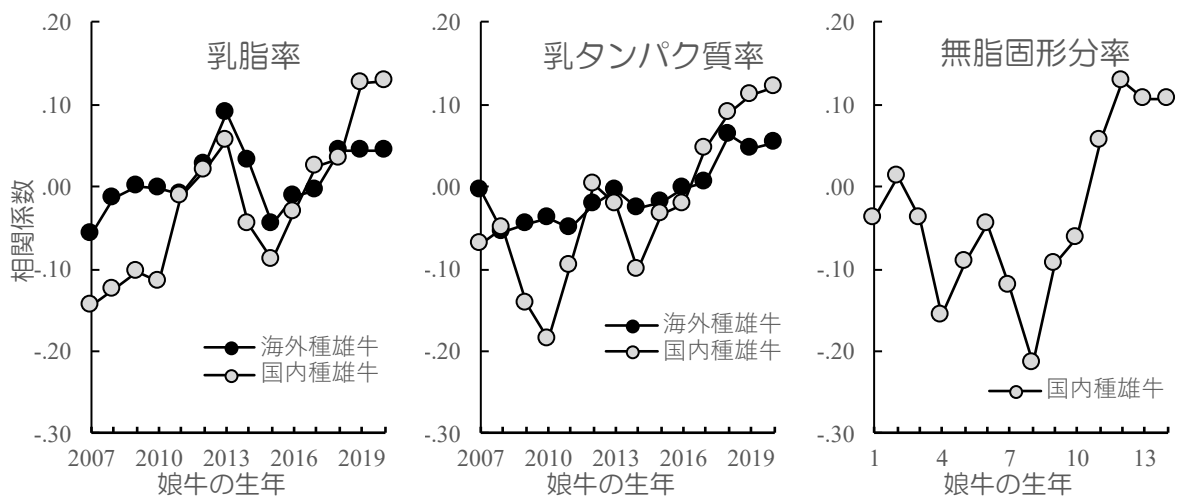


図11-4. 国内種雄牛と海外種雄牛における乳脂率、乳タンパク質率および無脂固形分率と娘牛数の相関の変化

表11-5. 種雄牛評価値と娘牛数の相関における年次に対する変化(傾き)および相関の最小と最大

	国内			海外		
	傾き($\times 10^2$)	最小	最大	傾き($\times 10^2$)	最小	最大
NTP(総合指数)	0.32	0.28	0.42	1.42 **	0.18	0.36
産乳成分	1.69 **	0.19	0.39	2.15 **	0.16	0.35
耐久性成分	-2.31 **	0.17	0.40	-0.68	0.10	0.22
疾病繁殖成分	-0.76	0.02	0.28	-1.38 **	-0.01	0.14
乳代効果	0.18	0.17	0.35			
長命連産効果	-0.62	0.25	0.41			
乳量	-0.20	0.15	0.33	1.20 **	0.10	0.26
乳脂量	0.88 **	0.19	0.36	1.48 **	0.12	0.31
乳タンパク質量	0.60	0.17	0.36	1.66 **	0.10	0.31
無脂固形分量	0.13	0.14	0.34			
乳脂率	1.75 **	-0.14	0.13	0.44	-0.06	0.09
乳タンパク質率	1.80 **	-0.19	0.12	0.71 **	-0.05	0.06
無脂固形分率	1.33 *	-0.21	0.13			
体貌と骨格	-1.85 **	-0.02	0.34			
肢蹄	-1.64 **	0.09	0.36	-0.37	0.06	0.23
乳用強健性	-1.93 **	0.08	0.41			
乳器	-1.39 **	0.21	0.40	-0.28	0.13	0.25
決定得点	-1.97 **	0.15	0.44	-0.62 **	0.12	0.26
高さ	-1.95 **	0.03	0.38	-0.89 **	0.03	0.21
胸の幅	-1.10 *	0.01	0.29	-0.47	0.01	0.15
体の深さ	-1.93 **	-0.01	0.33	-0.83 *	0.00	0.21
鋭角性	-1.37 *	0.07	0.38	0.10	0.01	0.14
尻の角度	-0.05	-0.02	0.14	-0.97 **	-0.07	0.11
坐骨幅	-0.58	0.03	0.26	0.03	0.05	0.13
後肢側望	0.64	-0.24	-0.03	0.51	-0.12	0.03
後肢後望	-1.24 **	0.00	0.22	-0.39 *	0.03	0.14
蹄の角度	-1.60 *	-0.02	0.26	-0.25	0.01	0.13
前乳房の付着	-1.20 **	0.07	0.29	-0.04	0.09	0.21
後乳房の高さ	-0.76 *	0.12	0.30	-0.17	0.11	0.20
後乳房の幅	-1.68 **	0.03	0.29			
乳房の懸垂	-2.38 **	-0.11	0.32	-1.34 **	-0.06	0.15
乳房の深さ	-0.87 *	0.08	0.28	-0.18	0.06	0.15
前乳頭の配置	-1.81 **	-0.05	0.21	-0.18	-0.03	0.14
前乳頭の長さ	0.04	-0.11	0.08	-0.30	-0.07	0.04
後乳頭の配置	-1.97 **	-0.12	0.20	-0.71	-0.07	0.11
ボディコンディション	-1.03	-0.12	0.17	0.13	-0.12	0.05
体細胞スコア	-1.76 **	-0.31	0.07	-0.53 *	-0.14	-0.02
在群期間	-0.36	0.04	0.19	-0.01	0.01	0.17
未經産娘牛受胎率	-0.17	-0.12	-0.04	1.74	-0.21	0.04
初産娘牛受胎率	0.31	-0.08	0.10	0.51	-0.19	0.05
2産娘牛受胎率	-0.80	-0.08	0.07	-2.40	-0.16	-0.06
空胎日数	0.14	-0.09	0.09	0.89	0.01	0.14
気質	1.25 **	-0.04	0.14	0.23	-0.04	0.19
搾乳性	-0.41	-0.15	0.09	-0.20	-0.08	0.11

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

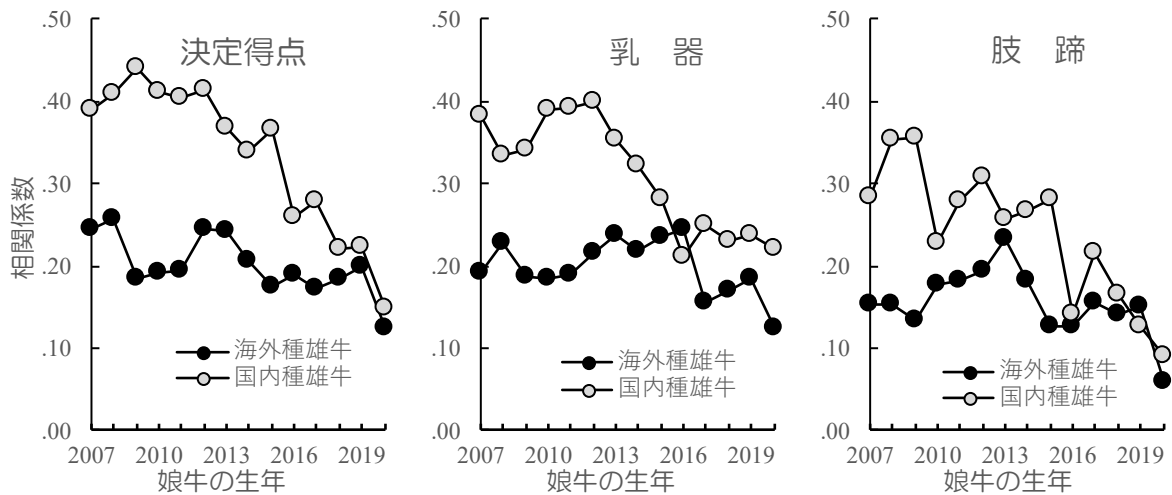


図11-5. 国内種雄牛と海外種雄牛における決定得点、乳器および肢蹄と娘牛数の相関の変化

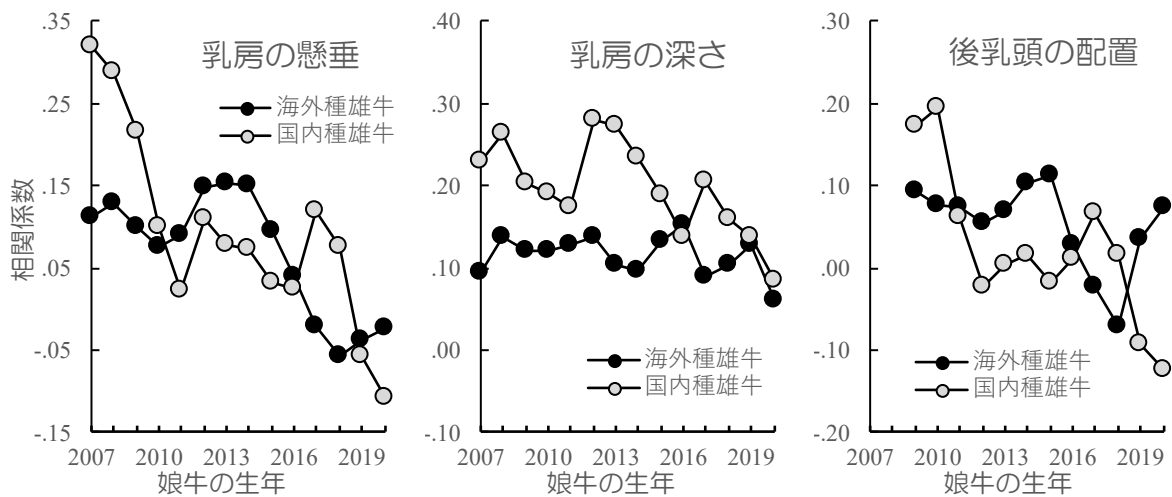


図11-6. 国内種雄牛と海外種雄牛における乳房の懸垂、乳房の深さおよび後乳頭の配置と娘牛数の相関の変化

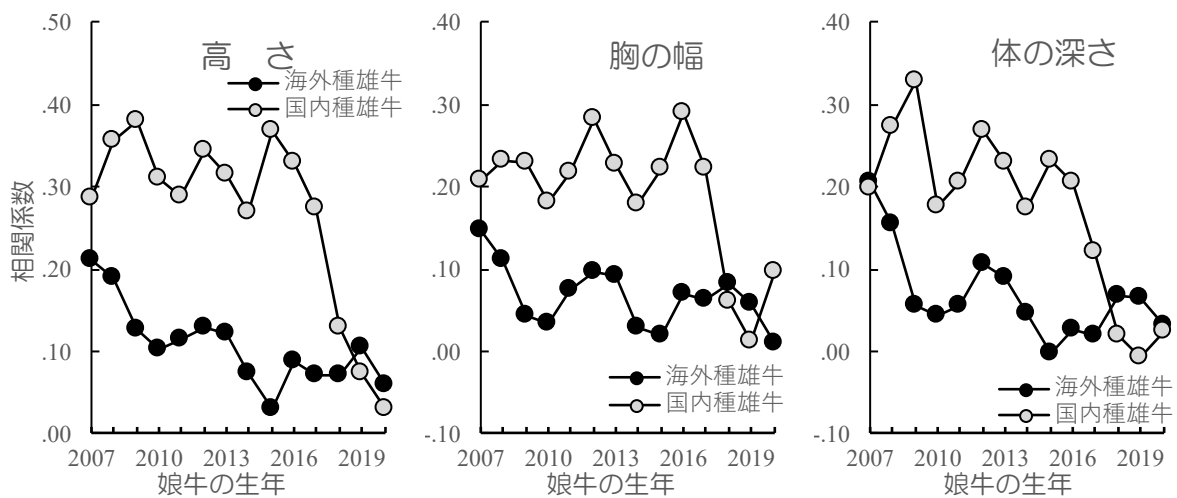


図11-7. 国内種雄牛と海外種雄牛における高さ、胸の幅および体の深さと娘牛数の相関の変化

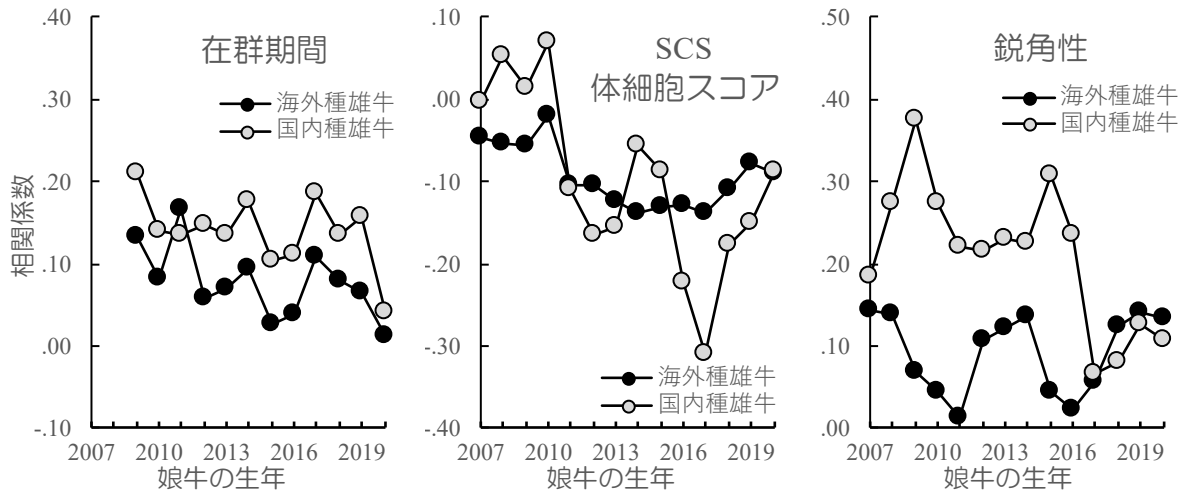


図11-8. 国内種雄牛と海外種雄牛における在群期間、SCS(体細胞スコア)および鋭角性と娘牛数の相関の変化

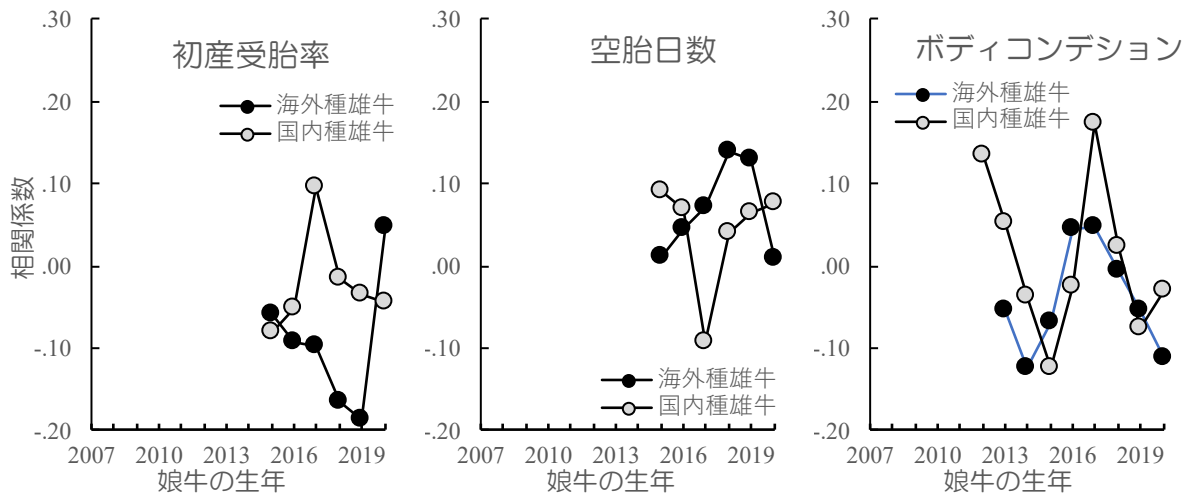


図11-9. 国内種雄牛と海外種雄牛における初産受胎率、空胎日数およびボディコンディションと娘牛数の相関の変化

産乳成分は国内種雄牛において0.19から0.39、海外種雄牛において0.16から0.35の範囲で1%水準の有意な相関が推定され、年次に対し上昇を示した。海外種雄牛は乳量、乳脂量および乳タンパク質量において年次に対し相関が有意に上昇した。一方、国内種雄牛では乳脂量において年次に対し有意な相関の上昇が見られた。乳量、乳タンパク質量の相関は年次を通して海外種雄牛よりも高いレベルを維持していた。また、乳成分率と娘牛数の相関は年次に対してわずかに負から正に転じる傾向が見られることから、最近では乳成分率が低下しない程度の選抜が加えられている形跡が見られた(図11-4)。

耐久性成分と娘牛数の相関は国内種雄牛において0.40から0.17、海外種雄牛において0.22から0.10へ低下傾向が見られた。耐久性成分は肢蹄と乳房に関係する形質によって構成されているが、図11-5に示したとおり、決定得点、乳器および肢蹄と娘牛数の相関は年次に対して低下を示し、特に国内種雄牛において著しい変化が認められた。また、図11-6には国内種雄牛と海外種雄牛における乳房の懸垂、乳房の深さおよび後乳頭の配置と娘牛数の相関の変化を示したが、これら線形形質で見ても相関が低下していることから、肢蹄や乳房の成績で種雄牛を選抜する傾向が希薄になっているものと推察された。

図 11-7 には国内種雄牛と海外種雄牛における高さ、胸の幅および体の深さと娘牛数の相関の変化を示した。これらは体のサイズに関係する形質であるが、年次に対して相関が低下する傾向が見られた。特に国内種雄牛における高さの相関は 2017 年頃まで常に 0.3 から 0.4 の範囲にあったが 3 年程度前から相関の急激な低下が見られた。この傾向は胸の幅や体の深さの相関にも見られる現象であり、最近はいずれの形質の相関もゼロに近似するようになった。ホルスタインの大型化については生産寿命の短縮を招くとの報告が多数あり懸念されていたが、ようやく大型化への選抜・交配が鈍化し始めたことを示唆しているものと推察された。

また、鋭角性の改良も生産寿命の短縮をけん引するとの報告があるが、図 11-8 に示すように鋭角性に対する選抜も以前と比較すれば、低下傾向にある分析結果が得られた。図 11-8 には他に在群期間と SCS の相関の変化も示した。SCS の相関は国内種雄牛において 0.07 から -0.31、海外種雄牛は -0.02 から -0.14 の範囲で年次に対し低下を示した。在群期間と娘牛数の相関は国内種雄牛において 0.19 から 0.04、海外種雄牛は 0.17 から 0.01 の範囲で年次に対して緩慢に低下する傾向が見られ、最近ではほぼ無相関になってきたことから、在群期間の改良が期待できる種雄牛の供用が積極的に行われなくなってきた可能性がある。

図 11-9 には国内種雄牛と海外種雄牛における初産受胎率、空胎日数およびボディコンディションと娘牛数の相関の変化を示した。海外種雄牛では初産受胎率と空胎日数において有意な相関がみられなかった。一方、国内種雄牛において有意な相関が 2018 年と 2019 年に見られたが、それらの相関は初産受胎率で負、空胎日数で正の相関が推定されたことから、繁殖性に対しては望ましくない選抜が加えられている可能性が示唆された。

(3) ステップワイズ回帰

図 11-10 には産乳成分、耐久性成分および疾病繁殖性成分に対する娘牛数のステップワイズ回帰分析により有意($P < 0.15$)に推定された回帰係数の割合を示した。国内および海外種雄牛ともに産乳成分の回帰係数の割合は年次の経過にしたがい上昇する一方、耐久性成分における回帰係数の割合は低下する傾向が見られた。疾病繁殖成分は有意($P < 0.15$)にモデルに取り込まれる機会が少なく、国内種雄牛では 2012 年と 2016 年から 2018 年において疾病繁殖成分がモデルに取り込まれる機会があり、特に 2016 年から 2018 年において、耐久性成分と比較し疾病繁殖性成分に対する選抜の影響が顕著に見られた。一方、海外種雄牛では 2013 年と 2014 年に疾病繁殖性成分がモデルに取り込まれたが、その影響は耐久性成分より小さいものであった。この結果だけで推察した場合、海外種雄牛は選抜要因として疾病繁殖性成分をあまり考慮していないと結論付けられるかもしれない。しかし、日本に輸入される海外種雄牛の中で泌乳持続性と空胎日数の遺伝評価値が不明なものは、それらの形質の平均値を与えて疾病繁殖性成分を計算していることから、疾病繁殖性成分によつて的確に種雄牛を序列できていないことが影響している可能性もあり、原因を特定するにはさらなる調査が必要と考えられた。

表 11-6 には国内種雄牛における泌乳形質(5 形質)と体型形質(5 形質)および管理形質(3 形質)に対する娘牛数のステップワイズ回帰分析により有意($P < 0.15$)に推定された回帰係数を示した。また、表 11-7 には海外種雄牛における泌乳形質(5 形質)と体型形質(5 形質)および管理形質(SCS)に対する娘牛数のステップワイズ回帰分析により有意($P < 0.15$)に推定された偏回帰係数を示した。ここで、海外種雄牛の場合は在群期間と初産受胎率の評価値を持つ種雄牛が少ないため、分析対象から除外した。

泌乳形質では少なくとも乳量、乳脂量および乳タンパク質量のいずれかがモデルに取り込まれた。特に最近では乳タンパク質量がモデルに取り込まれる傾向が多く見られた。体型形質では年次を通じて決定得点が多くモデルに取り込まれる傾向が認められたが、決定得点を取り込まれない年次でも肢蹄や乳器のような体型が必ずモデルに取り込まれることから、常に体型改良を意識した供用種雄牛が選抜されているものと推察された。

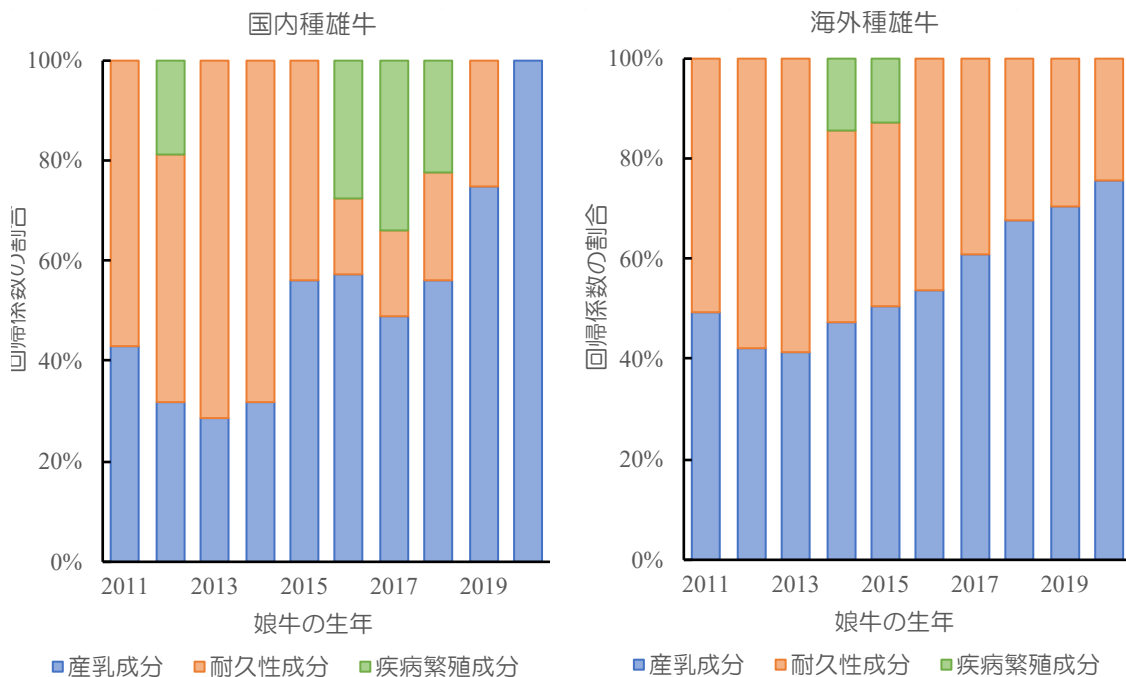


図11-10. 産乳成分、耐久性成分および疾病繁殖性成分に対する娘牛数のステップワイズ回帰分析により有意($P < 0.15$)に推定された回帰係数の割合

表11-6. 国内種雄牛において、泌乳形質(5形質)と体型形質(5形質)および管理形質(3形質)に対する娘牛数のステップワイズ回帰分析により有意($P < 0.15$)に推定された回帰係数

生年	雄牛数	乳量	乳脂量	乳タンパク質量	乳脂率	乳タンパク質率	決定得点	肢蹄	乳器	高さ	鋭角性	SCS	HL 2009~	初産受胎率2015~
2007	259			250 **			567 **				-191 *		-	-
2008	267			201 **				279 **		246 **			-	-
2009	254	263 **			140		701 **		-325 *				173 **	-
2010	228	208 **					422 **							-
2011	234		252 **				464 **							-
2012	220		230 **				434 **					-168 *		-
2013	211		194 *				519 **							-
2014	193		173				398 **						166	-
2015	215			316 **			268 **				235 *			275 **
2016	221	289 **			253 **				311 **		-152 *			249 **
2017	209		280 **	269 **		-167 *	405 **				-153	-255 **	-268 **	354 **
2018	223			510 **				165				-177 *		221 *
2019	182		285	369 *					201					160
2020	156		427 **						305 **	-187			-165	

SCS: 体細胞スコア、HL: 在群期間

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

高さと鋭角性は国内種雄牛において2007年、2017年および2020年、海外種雄牛では2010年から2015年の6年間、負の回帰係数を伴いモデルに取り込まれることがあったが、一時的な傾向に過ぎなかった。SCSや初産受胎率のような管理形質については国内種雄牛のも調査されているが、最近になるほどモデルに取り込まれる機会が多く認められるようになった。初産受胎率の種雄牛評価値は2015年の公表以降の傾向しか明らかではないが、公表後は常に正の回帰係数を伴いモデルに取り込まれている。しかし、このような繁殖性による種雄牛の選抜の形跡は図11-9に示したように初産受胎率の種雄牛評価値と娘牛数との相関だけでは明確に認められなかった。ステップワイス回帰分析により正の有意な回帰係数としてモデルに取り込まれた背景には、様々な他形質との関係を考慮することで初産受胎率も娘牛数を説明する有意な要因として影響を及ぼしている可能性があると考えられた。

在群期間は2017年と2020年に負の回帰係数を伴いながらモデルに取り込まれた。図11-8に示したように国内種雄牛の在群期間と娘牛数の相関は年々低下しているが負の相関に転じるまでには至っていなかった。しかし、ステップワイス回帰分析を使用した場合、在群期間は負の回帰係数によって最近の娘牛数を説明していることから、このような傾向が今後続くようならば在群期間の遺伝改良量が短縮化に向かう可能性もあるので注視していく必要があるだろう。

4. 考察と結論

本分析は酪農家や人工授精師などが実際におこなった種雄牛の選抜傾向を調査することに留めたため、種雄牛評価値の信頼度を考慮した分析は行わなかった。種雄牛の選抜傾向が乳牛集団の改良量や改良方向に対しどのように影響を及ぼすかは信頼度から得られる選抜の正確度の情報を利用する必要があり、これに続く分析については機会があれば今後の課題にしたい。

酪農家や酪農関係者からはNTPの耐久性成分や疾病繁殖成分の重みを大きくし、生産寿命の改良が期待できる指数に変更を求める意見が多い。しかし、酪農家や人工授精師が行っている実際の授精・交配では、より最近になるほど泌乳能力が優れた種雄牛を選抜する傾向が顕著になる一方、体型形質のより優れた種雄牛が選抜される傾向が希薄になってきた。また、生産寿命の改良に直接役立つような在群期間の優れた種雄牛の供用が減ってきた反面、生産寿命の短縮化を促進するような大型化や鋭角性に優れた種雄牛の供用が減少する傾向が見られるようになった。

ここ10年程度の期間、わが国の酪農産業は酪農家戸数や乳用牛飼養頭数の減少ともなう生産基盤の弱体化が危惧される状況が続いてきた。さらに、異常気象や地震などによる自然災害の多発も影響し、生乳生産量の回復が遅れていたが、最近になり雌雄選別精液の活用が普及するようになり飼養頭数が増加傾向に転じ、2019年度以降は増産傾向が見通せるようになった。しかし、それは大規模酪農によって増産をけん引している北海道であって、都府県では2歳未満頭数が未だに不足していることから今はいくらでも今後の増産体制に陰りを見せている。生乳生産量の早急な回復には泌乳能力の改良が急務と考えられることから、ここ数年の傾向としては泌乳能力の改良が期待できる種雄牛の需要が向上したと推察された。

一方、長期的な視点に立てば、生乳生産量の増産には機能性、繁殖性および耐病性などを改良して生産寿命の延長を図り生涯乳量を増加させることが重要である。それゆえ、NTPの変更に当たっては実際の酪農経済の長期的動向を踏まえ、酪農家や人工授精師における供用種雄牛の選抜傾向を把握しながら、適切に見直しを進めていく必要があると推察された。

表11-7. 海外種雄牛において、泌乳形質(5形質)と体型形質(5形質)および管理形質(1形質)に対する娘牛数のステップワイズ回帰分析により有意(P<0.15)に推定された回帰係数

生年	雄牛数	乳量	乳脂量	乳タンパク質量	乳脂率	乳タンパク質率	決定得点	肢蹄	乳器	高さ	鋭角性	SCS
2007	443			116 **			157 **					
2008	479			76 **			174 **					
2009	527		77 **						109 **			
2010	517		47 *	44			136 **				-62 **	
2011	543	42 *	66 **				153 **				-88 **	
2012	566		88 **		-33		274 **		-67	-66 *	-64 *	
2013	541		78 **				147 **			-64 *		-27
2014	525		75 **					38 *	68 **	-32		
2015	540			80 **			57		56	-63 **		-23
2016	555			75 **					71 **			-25
2017	533			114 **			40	44				-35
2018	514			175 **	45		93 **					
2019	517		86 **	86 **			73 **					
2020	464		58	109 **			53 *					

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

SCS：体細胞スコア、HL：在群期間

第12章 わが国のホルスタイン集団における世代間隔と遺伝選抜差の実態

1. はじめに

1996(平成8)年から現在までの約25年間、わが国のホルスタイン集団はNTPによって改良が進められてきた。NTPはその期間、何度か改正されたが、産乳成分の重みを2/3とし、低くても70%を維持し泌乳能力の改良を重視した。2015(平成27)年8月のNTP改正時に泌乳持続性と繁殖性(空胎日数)をNTPに加えたが、産乳成分の重みは全体の70%を維持した。2022(令和4)年2月の改正では生産寿命の改良を強化するため群能力の育種価を加えたが、それでも産乳成分の重みは60%を維持し、泌乳能力の改良を重視した指数としての特徴を堅持した。

わが国のホルスタイン集団の遺伝改良は、NTPで示された改良方針に基づき、後代検定事業で作出された種雄牛と海外からの輸入精液の導入によって進められてきた。しかし、実際に集団の改良がNTPの重み付けに応じて進んでいるとは限らない。NTPによる改良方針と酪農現場における実際の改良結果の差異は、種雄牛の生産状況や生産者による供用種雄牛の選択の実態を調査することで明らかになるであろう。本分析では、はじめに各形質の遺伝的趨勢を比較した。次に選抜の4径路における世代間隔と遺伝選抜差を推定し、選抜の実態とNTPの改良方針との関連を検討した。

2. データの編集と分析方法

本分析では、独立行政法人家畜改良センターが2022(令和4)年2月に公表した育種価を利用した。分析には泌乳能力の7形質(乳量、乳脂量、乳タンパク質量、無脂固形分量、乳脂率、乳タンパク質率および無脂固形分率)、体細胞スコア、さらに5つの体型形質(体貌と骨格、肢蹄、乳用強健性、乳器、決定得点)の合計13形質の育種価を使用した。海外の種雄牛は、同様に2022(令和4)年4月に公表されたインターブールのMACE評価値を利用した。無脂固形分量、無脂固形分率、体貌と骨格および乳用強健性の育種価は、MACE評価値が公表されていないことから、遺伝選抜差の計算から除外した。

選抜対象の形質は遺伝分散が徐々に小さくなることわかっているが、その減少量は非常に小さい。それゆえ、数世代の改良傾向を検討する場合は一定と仮定しても大きな支障はないと考えられる。また、遺伝分散(σ_G^2)を計算するために使用した集団は、雌牛のほとんどが除籍されこれ以上記録がほとんど増えず信頼度が安定していると考えられる2010年生まれの雌牛集団とした。現在公表されている育種価は、最良不偏予測値(BLUP)であるから、推定育種価の分散($\hat{\sigma}_G^2$)および平均信頼度(r_{GG}^2)を使用して以下の通り遺伝分散を推定した。

$$\sigma_G^2 = \frac{\hat{\sigma}_G^2}{r_{GG}^2}$$

表12-1には、2010年生まれの雌牛のEBVにおける標準偏差と平均信頼度、それらから推定された遺伝偏差(遺伝分散の平方根)を示した。推定育種価は誤差を含んでいるため、信頼度が低い形質の遺伝偏差は、育種価の標準偏差と比較し、大きく変化する傾向がみられた。

年当たりの選抜反応量(ΔG)は、RendelとRobertson(1950)の選抜の4径路にしたがい、以下の式で計算した。

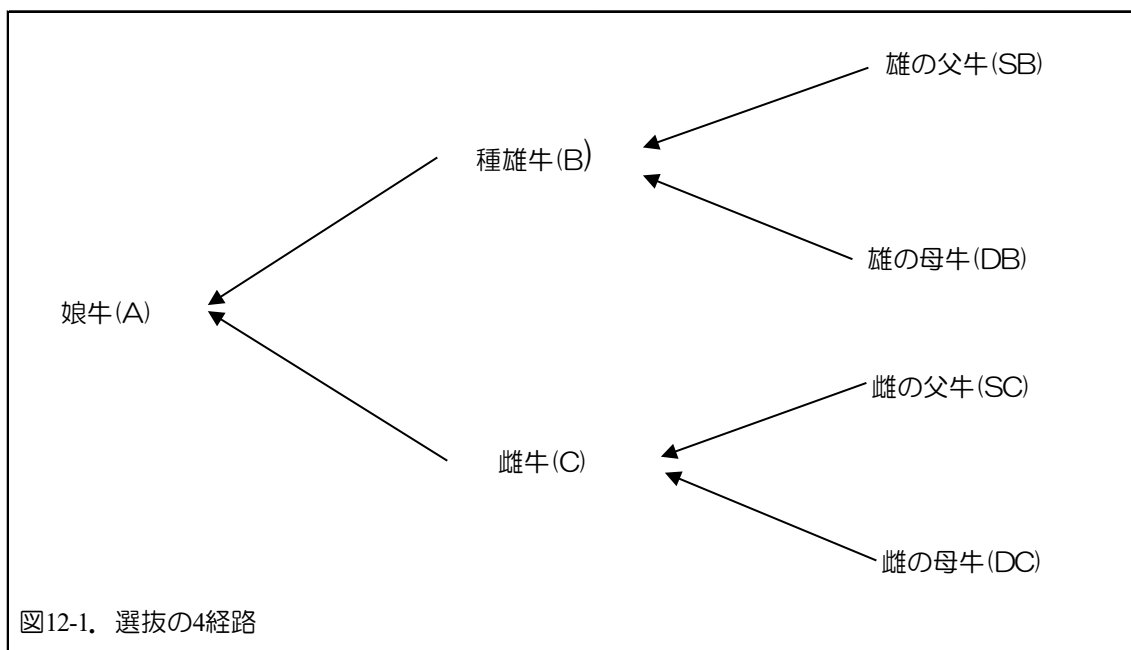
$$\Delta G = \frac{I_{SB} + I_{DB} + I_{SC} + I_{DC}}{L_{SB} + L_{DB} + L_{SC} + L_{DC}}$$

ここで、選抜の4径路とは、種雄牛の父(SB)、種雄牛の母(DB)、雌牛の父(SC)および雌牛の母(DC)である

(図12-1)。世代間隔 (L) は個体と親の誕生日の間隔を日数で計算し、年単位で表示した。標準化遺伝選抜差 (I) は、理論的に言えば、選抜強度と選抜の正確度との積として定義される。標準化遺伝選抜差は、親牛と同年に生まれた雌牛の推定育種価の平均値と親牛の推定育種価の差を標準偏差単位 (σ_G) で表示した。親牛の遺伝選抜差は子の世代の選抜反応量に影響を及ぼす。それゆえ、各径路における種雄牛または雌牛の誕生年別の遺伝選抜差とは、子である種雄牛または雌牛の誕生年別に親牛の遺伝選抜差の平均値を割り当てた。

表12-1. 2010年生まれの雌牛のEBVにおける標準偏差と平均信頼度、それらから推定された遺伝偏差（遺伝分散の平方根）

形質	EBV ₂₀₁₀		遺伝偏差
	標準偏差	信頼度%	
乳量	538.7	63.4	676.3
乳脂量	19.0	61.6	24.3
乳タンパク質量	13.4	58.5	17.5
無脂固形分量	40.3	60.5	51.8
乳脂率	0.216	89.2	0.228
乳タンパク質率	0.109	90.2	0.115
無脂固形分率	0.143	92.1	0.149
体細胞スコア	0.234	37.2	0.384
体貌と骨格	0.665	50.1	0.939
肢蹄	0.329	36.5	0.544
乳用強健性	0.542	49.7	0.768
乳器	0.517	42.6	0.792
決定得点	0.455	45.4	0.676



3. 結果と考察

(1) 選抜差と世代間隔を計算するための記録数

表 12-2 には育種価が明らかな雌牛数、雄牛数および世代間隔と遺伝選抜差が計算できた個体の割合を示した。種雄牛は、国内種雄牛の他に輸入精液として供用された海外種雄牛も含め、60,135 頭が分析に利用された。SB と DB 径路における世代間隔はほとんどの種雄牛において計算することができた。SB 径路において計算できた遺伝選抜差は 1990 年と 1991 年において 1%程度、1992 年から 1999 年まで 42.1%から 90.5%であったが、2000 年以降は 82.4%から 100%の範囲を維持した。これは、MACE 評価値を利用することで父牛が外国種雄牛であっても、遺伝選抜差を計算することができたためである。それに対し、DB 径路において遺伝選抜差が計算できた種雄牛は最大でも 2007 年生れの 39.5%に留まった。これは、輸入精液は当然であるが、国内種雄牛であっても母牛が海外で能力検定を受けそれらの受精卵などを由来にしている種雄牛が含まれる。このように日本で供用された種雄牛の 7 から 8 割程は海外に母牛が在籍していることを示唆している。特に 2017 年生れの種雄牛は、データを抽出した時点でほとんどが海外から精液が輸入されたゲノミックヤングブルであった。

表12-2. 泌乳能力のEBVが明らかな雌牛数と雄牛数、および各々世代間隔が判明した個体、EBV持つ父牛または母牛が明らかな個体の割合

生年	雄牛数	世代間隔		選抜差		雌牛数	世代間隔		選抜差	
		SB (%)	DB (%)	SB (%)	DB (%)		SC (%)	DC (%)	SC (%)	DC (%)
1990	381	100.0	99.5	1.0	4.2	131,191	100.0	96.5	73.6	81.8
1991	553	100.0	99.8	1.4	4.7	127,721	100.0	96.6	79.9	85.0
1992	411	100.0	99.8	42.1	9.7	118,773	100.0	96.7	85.2	87.0
1993	369	100.0	100.0	77.2	10.8	117,990	100.0	96.5	89.9	87.3
1994	376	100.0	99.7	74.5	9.0	115,615	100.0	95.7	91.6	86.8
1995	406	100.0	99.3	65.0	8.1	112,893	100.0	95.4	86.8	86.7
1996	384	100.0	99.5	83.3	9.1	110,383	100.0	95.2	92.8	86.5
1997	417	99.8	99.8	76.3	8.4	110,224	100.0	94.9	95.5	85.8
1998	370	100.0	99.5	90.5	10.8	106,686	100.0	94.8	96.4	85.7
1999	361	100.0	100.0	89.8	11.6	107,063	100.0	94.7	96.2	85.1
2000	376	99.7	99.5	93.6	12.0	114,381	100.0	94.2	95.5	83.7
2001	429	99.8	100.0	93.0	14.9	117,736	100.0	93.8	96.6	82.9
2002	372	100.0	100.0	96.2	18.8	129,176	100.0	92.2	97.1	81.4
2003	315	100.0	100.0	98.1	32.1	135,251	100.0	91.8	99.1	82.2
2004	387	100.0	99.7	95.6	36.2	129,844	100.0	92.0	99.2	84.9
2005	363	100.0	100.0	82.4	24.5	133,683	100.0	92.1	99.3	85.6
2006	381	100.0	99.7	89.8	35.4	131,314	100.0	92.9	99.5	86.9
2007	354	100.0	100.0	89.8	39.5	122,618	100.0	94.0	99.5	88.4
2008	388	100.0	100.0	83.0	34.0	128,219	100.0	94.8	99.5	89.4
2009	426	100.0	99.8	94.6	31.9	133,900	100.0	95.5	98.5	90.1
2010	485	100.0	100.0	98.6	28.5	133,534	100.0	96.1	97.9	90.8
2011	484	100.0	100.0	99.2	25.8	128,844	100.0	96.5	98.4	91.6
2012	525	100.0	100.0	99.6	27.2	131,181	100.0	96.8	99.0	92.1
2013	440	100.0	100.0	99.3	28.2	134,368	100.0	97.0	98.6	92.4
2014	438	99.8	99.8	99.1	25.3	131,517	100.0	97.3	99.1	93.1
2015	467	100.0	100.0	99.1	24.8	130,884	100.0	97.6	99.3	93.5
2016	401	100.0	100.0	99.8	28.4	131,235	100.0	97.7	99.5	93.6
2017	230	100.0	100.0	100.0	2.6	134,981	100.0	97.7	99.3	93.7
2018						139,534	100.0	98.0	99.5	94.4
2019						100,724	100.0	98.4	97.6	95.3

SC 径路と DC 径路の分析では 3,731,463 頭の雌牛が使用された。SC 径路と DC 径路において遺伝選抜差が計算できた雌牛は、それぞれ 1996 年および 2009 年以降、90%を超えた。DC 径路の遺伝選抜差が計算できた雌牛が多い背景には、牛群検定農家の多くが数世代に渡り比較的長期間、能力検定を実施していることに起因し、母牛の育種価が推定されている雌牛が多いことを示唆している。

表 12-3 には、体型形質の育種価が明らかな雌牛数、雄牛数および世代間隔と遺伝選抜差が計算できた個体の割合を示した。体型形質の育種価を持つ種雄牛数は、泌乳形質の育種価を持つ種雄牛数と大きな差異がなかった。雌側の DC 径路において遺伝選抜差が計算できた雌牛の割合は、誕生年に対し 38.6%から 57.0%の範囲にあり、表 12-2 の泌乳形質と比較し低い割合を示した。これは、体型審査を受検する雌牛の中で、過去に母牛も体型審査を受検したことがある雌牛が半数程度と少ないことに起因している。母牛の体型記録が既知な農家は体型の改良を積極的に進めるため継続的に体型審査を実施していることが想定されるので、DC 径路の遺伝選抜差は平均よりも比較的高い傾向があると推察された。体型形質は DB 径路と DC 径路の遺伝選抜差を計算できた個体が非常に少なかった。それゆえ、世代間隔と遺伝選抜差から選抜反応量を予測する場合またはそれを考察する場合は注意が必要である。

表12-3. 体型形質のEBVが明らかな雌牛数と雄牛数、および各々世代間隔が判明した個体、EBV持つ父牛または母牛が明らかな個体の割合

生年	雄牛数	世代間隔		選抜差		雌牛数	世代間隔		選抜差	
		SB (%)	DB (%)	SB (%)	DB (%)		SC (%)	DC (%)	SC (%)	DC (%)
1990	378	100.0	99.5	1.1	6.6	31,554	100.0	97.8	70.4	44.3
1991	551	100.0	99.8	1.5	5.4	38,017	100.0	97.7	76.5	41.3
1992	408	100.0	99.8	42.4	10.5	44,238	100.0	97.6	81.9	38.6
1993	367	100.0	100.0	77.4	11.2	46,497	100.0	97.2	87.3	38.6
1994	375	100.0	99.7	74.4	7.5	42,938	100.0	97.0	89.1	42.3
1995	406	100.0	99.3	65.0	7.6	47,322	100.0	96.7	84.9	44.4
1996	380	100.0	99.7	83.2	8.7	48,219	100.0	96.3	91.9	45.3
1997	416	99.8	99.8	76.2	8.9	49,449	100.0	96.2	95.0	48.1
1998	368	100.0	99.5	90.8	10.9	44,815	100.0	96.3	96.0	51.4
1999	360	100.0	100.0	89.7	12.2	42,925	100.0	96.3	95.8	53.5
2000	374	99.7	99.5	93.6	12.0	44,247	100.0	96.1	95.5	54.8
2001	429	99.8	100.0	93.0	15.4	44,884	100.0	95.5	96.7	54.1
2002	372	100.0	100.0	96.2	18.8	45,968	100.0	94.5	97.7	53.3
2003	314	100.0	100.0	98.1	31.8	46,846	100.0	94.2	99.3	52.7
2004	387	100.0	99.7	95.6	35.9	47,091	100.0	94.4	99.3	51.7
2005	363	100.0	100.0	82.4	24.2	47,111	100.0	94.7	99.3	50.6
2006	381	100.0	99.7	89.8	34.9	45,829	100.0	95.6	99.6	51.5
2007	354	100.0	100.0	89.8	39.3	45,307	100.0	96.0	99.6	50.6
2008	386	100.0	100.0	82.9	33.9	47,995	100.0	96.5	99.5	49.9
2009	424	100.0	99.8	94.6	32.1	46,499	100.0	96.9	98.1	50.8
2010	478	100.0	100.0	98.7	28.2	45,130	100.0	97.5	97.6	52.7
2011	478	100.0	100.0	99.2	26.2	44,502	100.0	97.7	98.3	52.7
2012	516	100.0	100.0	99.6	27.5	39,577	100.0	98.0	99.2	54.7
2013	428	100.0	100.0	99.5	28.5	36,212	100.0	98.3	98.8	57.0
2014	415	99.8	99.8	98.8	26.5	37,548	100.0	98.2	99.2	55.3
2015	433	100.0	100.0	99.1	26.6	44,394	100.0	98.3	98.9	50.3
2016	379	100.0	100.0	99.5	30.1	46,702	100.0	98.1	99.3	48.4
2017	173	100.0	100.0	100.0	3.5	46,785	100.0	98.5	99.2	48.2
2018						44,708	100.0	98.6	99.4	50.4
2019						23,825	100.0	99.2	94.2	53.3

(2) 選抜反応量（遺伝的改良量）

図 12-2 には、1990 年の平均育種価を基準に乳量、乳脂量、乳タンパク質量および無脂固形分量の遺伝的趨勢を標準化して比較した。遺伝的趨勢がもっとも顕著に認められた形質は乳タンパク質量であり、次に無脂固形分量と乳量の遺伝的趨勢であった。乳脂量の遺伝的趨勢は 1990 年中ごろまで乳タンパク質量と同程度の選抜反応が認められたが、1990 年代後半から減速傾向がみられるようになり、2005 年から 2015 年の間に泌乳形質の中でもっとも遺伝的レベルが低くなった。しかし、2015 年以降は乳脂量の改良速度が上昇を示した。

図 12-3 には、雌牛の標準化育種価に基づく乳脂率、乳タンパク質率、無脂固形分率および体細胞スコアの遺伝的趨勢を示した。これらの形質は、ほとんど遺伝的趨勢が認められず、比較的選抜圧が低い形質と考えられた。これらの形質の特徴として、乳タンパク質率と無脂固形分率の遺伝的趨勢は 2000 年以降漸次低下を示したが、2010 年代中頃からわずかに上昇がみられた。乳脂率は 1995 年以降、負の方向へトレンドする傾向が認められたが、2015 年以降は上昇に転じた。体細胞スコアは乳成分率と比較し、顕著な変化が見られなかった。

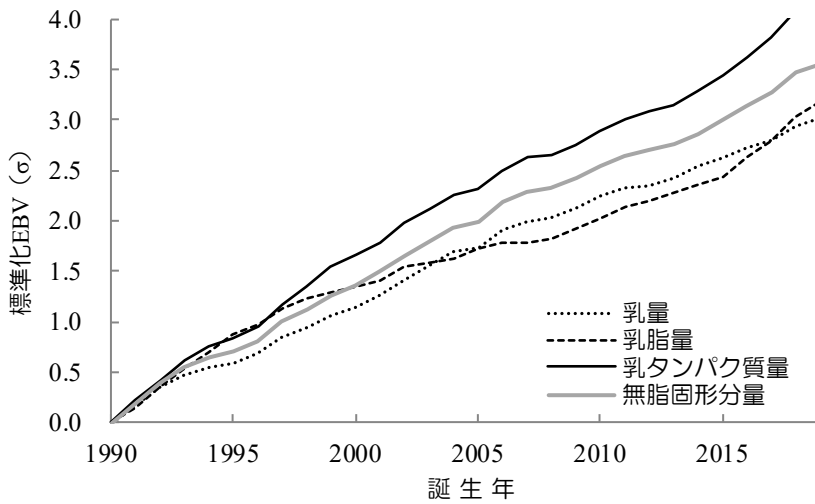


図12-2. 雌牛の標準化EBVに基づく乳量、乳脂量、乳タンパク質量および無脂固形分量の遺伝的趨勢の比較

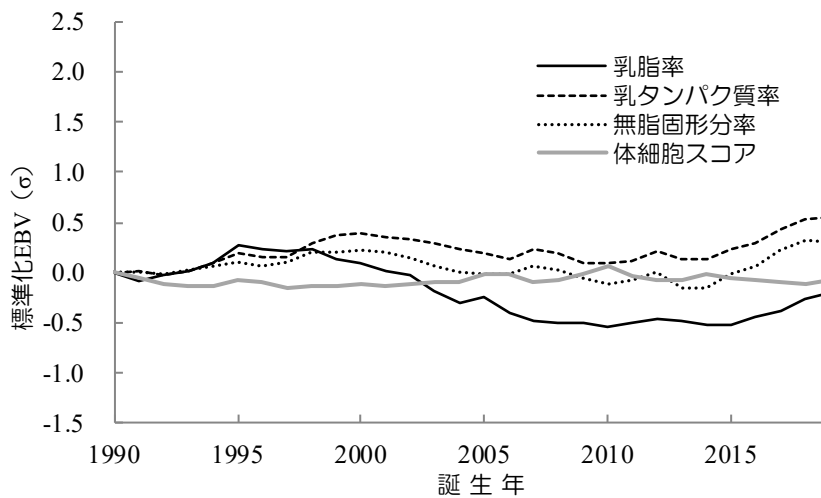


図12-3. 雌牛の標準化EBVに基づく乳脂率、乳タンパク質率、無脂固形分率および体細胞スコアの遺伝的趨勢の比較

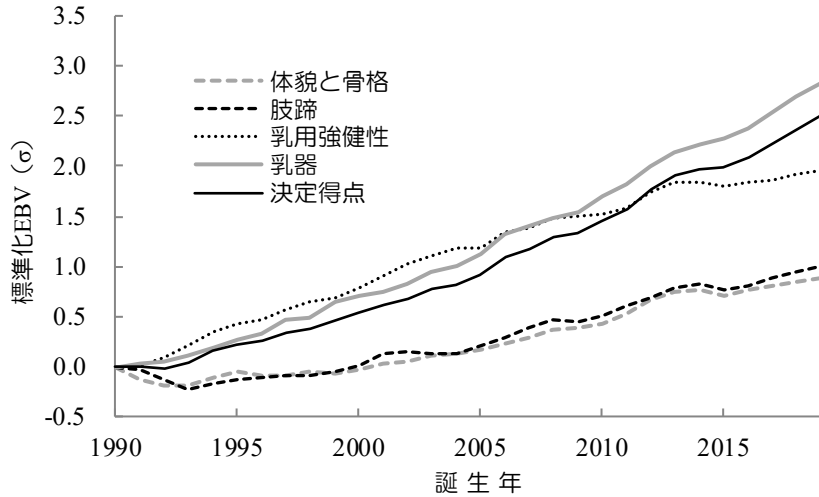


図12-4. 雌牛の標準化EBVに基づく体貌と骨格、肢蹄、乳用強健性、乳器および決定得点の遺伝的趨勢の比較

表12-4. 誕生年の範囲に分けた雌牛の年当たり選抜反応量(σ)

形質	雌牛の誕生年の範囲			全体
	1990-2000	2000-2010	2010-2019	
乳量	0.108	<u>0.109</u>	0.088	0.102
乳脂量	<u>0.139</u>	0.063	0.126	0.092
乳タンパク質量	<u>0.160</u>	0.121	0.147	0.135
無脂固形分量	<u>0.130</u>	0.117	0.116	0.117
乳脂率	0.024	-0.067	<u>0.032</u>	-0.025
乳タンパク質率	0.043	-0.029	<u>0.053</u>	0.009
無脂固形分率	0.025	-0.029	<u>0.051</u>	0.000
体細胞スコア	-0.008	0.014	<u>-0.013</u>	0.002
体貌と骨格	0.006	<u>0.047</u>	0.042	0.039
肢蹄	0.004	<u>0.048</u>	0.047	0.043
乳用強健性	0.083	<u>0.075</u>	0.041	0.072
乳器	0.074	0.103	<u>0.119</u>	0.100
決定得点	0.058	0.094	<u>0.109</u>	0.090

図 12-4 には雌牛の標準化育種面に基づく体貌と骨格、肢蹄、乳用強健性、乳器および決定得点の遺伝的趨勢を示した。遺伝的趨勢が最も顕著に認められた形質は乳器であった。決定得点は乳器の重みが40%を占める合成形質であり、乳器の次に顕著な遺伝的趨勢を示した。乳用強健性は泌乳能力との相関反応により遺伝的趨勢が認められる形質であるが、2010年代に入り改良傾向が喪失した。乳用強健性は繁殖性と負の遺伝相関が存在する。近年、NTPに空胎日数が増えられ繁殖性に対する選抜が本格化したことで、2015年以降は乳用強健性の改良がほぼ停止した状況がみられた。肢蹄および体貌と骨格は、遺伝的趨勢が緩慢であった。

表 12-4 には誕生年により 1990 年代、2000 年代および 2010 年代に分けた雌牛の年当たり選抜反応量を示した。乳量の選抜反応量は、2000 年代まで+0.108σから+0.109σの範囲で上昇したが、2010 年代において上昇量(+0.088

σ)が減少した。乳成分量の選抜反応量は2000年代に低下したものの、2010年代には+0.116σ(無脂固形分量)から+0.147σ(乳タンパク質量)の範囲で選抜反応量の回復がみられた。2000年代における乳成分率の年当たり選抜反応量は、-0.029σ(乳タンパク質率と無脂固形分率)から-0.067σ(乳脂率)の範囲で低下した。しかし、2010年代は+0.032σ(乳脂率)から+0.053σ(乳タンパク質率)の範囲で上昇に転じた。体細胞スコアの年当たり選抜反応量は2000年代にわずかな上昇(+0.014σ)を示したが、2010年代には低下の兆し(-0.013σ)が認められた。乳器と決定得点は、1990年代、2000年代および2010年代において年当たり選抜反応量が順次上昇し、2010年代にはそれぞれ+0.119σと+0.109σになった。2010年代における体貌と骨格、肢蹄および乳用強健性の年当たり選抜反応量は各々+0.042σ、+0.047σおよび+0.041σであり、乳器と決定得点の選抜反応量と比較し1/2以下であった。

泌乳形質と体型形質においてそれぞれ最も選抜反応量の高い乳タンパク質量と乳器の選抜反応量を比較し、泌乳能力と体型形質の改良傾向を比較した。1990年代から2010年代において乳タンパク質の選抜反応量が乳器の選抜反応量を一貫して超えていることから、わが国の乳牛改良は泌乳能力を重視した改良であることが示唆された。

(3) 世代間隔の傾向

図12-5には、選抜の4経路における世代間隔の変化を示した。世代間隔は2010年以降、選抜の4経路のすべてで短縮した。最も顕著な世代間隔の短縮はSB経路において認められ、2017年生れで2.16年に低下した。次にDB経路における世代間隔の短縮が顕著であった。2017年におけるDB経路の世代間隔は2.04年であった。SB経路とDB経路において、2016年から2017年にかけて世代間隔が急激に短縮されているが、これは2017年生れの種雄牛の中で国内種雄牛の占める割合が230頭中8頭であり、非常に少ないことが理由と考えられた。そこで、図12-6にはSBとDBの経路における国内種雄牛と海外種雄牛の世代間隔の変化を示した。SB経路における2017年の世代間隔は海外種雄牛で2.11年および国内種雄牛で3.71年であり、海外種雄牛は1.6年短かった。同様のDB経路における海外種雄牛は2.01年および国内種雄牛は3.06年であり、海外種雄牛は1.05年短かった。

SC経路とDC経路における短縮は緩慢であった。2019年におけるSC経路とDC経路の世代間隔は6.64年と3.76年であった。SC経路における世代間隔の短縮が緩慢なのは、後代検定事業を続けているためであり、ゲノミック選抜事業に移行すればSC経路の世代間隔は急速に短縮されると考えられた。

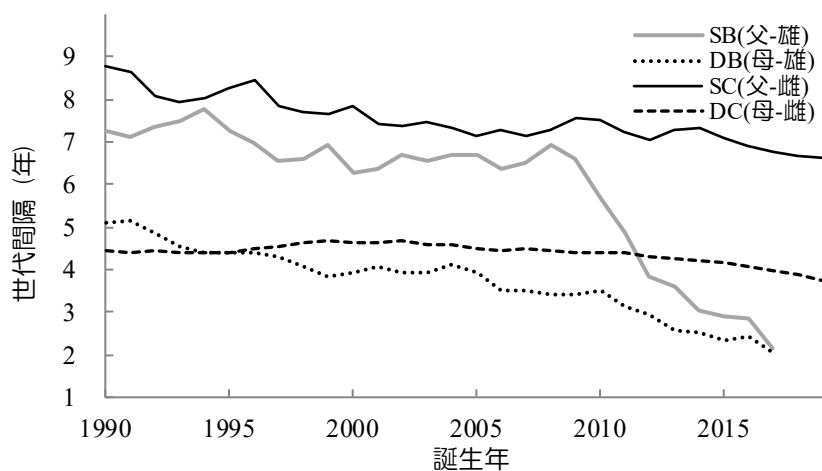


図12-5. 選抜の4経路における世代間隔の変化（親牛と雄牛または親牛と雌牛の生年月日の差を世代間隔と定義し、雄牛または雌牛の生年ごとに平均値を計算した）

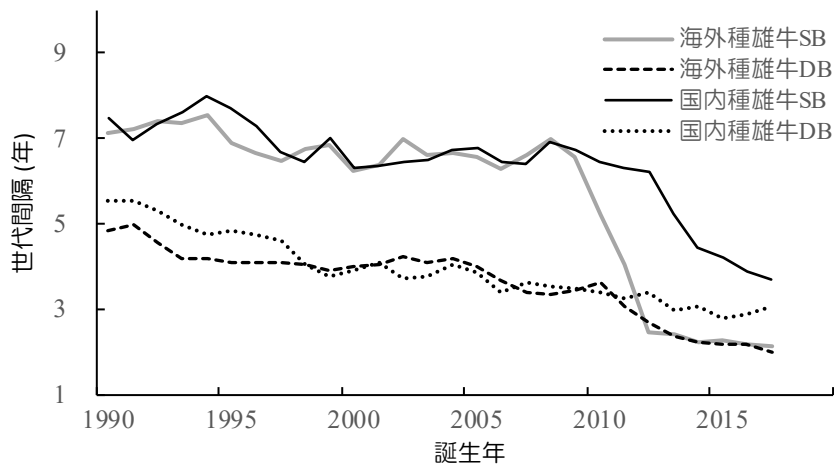


図12-6. SBとDBの経路における国内種雄牛と海外種雄牛の世代間隔の変

(4) 遺伝選抜差の傾向

図 12-7 には SB 径路における泌乳能力と体型形質の遺伝選抜差を示した。乳量と乳成分量の中で最も遺伝選抜差が高い形質は乳タンパク質量であり、1990 年代中頃には+2.50 σ を超えた時期があった。乳タンパク質量の遺伝選抜差は 1990 年代中頃をピークに徐々に減少したが 2010 年代に入り若干上昇傾向がみられた(2017 年において +2.08 σ)。乳脂量の遺伝選抜差は 1993 年の 2.15 σ をピークに減少し 2003 年に+0.81 σ まで低下した。その後は上昇し 2017 年には乳タンパク質量の遺伝選抜差を超え+2.44 σ になった。乳量の遺伝選抜差は 1990 年から 30 年間、低下傾向がみられた。乳成分率の遺伝選抜差は 2000 年代以降、顕著な上昇を示し 2017 年には乳脂率で+1.41 σ 、乳タンパク質率で+1.19 σ であった。体細胞スコアは 2000 年代以降減少し、最近では負の遺伝選抜差がみられた(2017 年の遺伝選抜差は-0.76 σ)。一方、体型形質における SB 径路の遺伝選抜差は 2000 年代中頃まで上昇したが、2010 年代に入り低下傾向がみられた。特に 2017 年における肢蹄の遺伝選抜差は 0.19 σ を示し、ほとんど遺伝選抜差が認められなかった。

図 12-8 には DB の径路における泌乳形質と体型形質の遺伝選抜差を示した。この DB 径路の遺伝選抜差は母牛が日本で飼養されたことのある種雄牛の傾向であり、これは国内種雄牛の一部に過ぎないことに注意する必要がある。泌乳形質における DB 径路の遺伝選抜差は 1990 年代において+2.00 σ を超えた時期もあったが、その後は低下がみられた。乳成分量に関しては 2010 年代に入り低下傾向が止まった。乳脂率と乳タンパク質率は 2000 年代に負の遺伝選抜差を示した時期もあったが、2010 年代には正の遺伝選抜差が得られるようになった。一方、体細胞スコアの遺伝選抜差は 2000 年代まで大きな変化がなかったが、2010 年代に入り低下傾向が見られるようになった。乳器と決定得点の遺伝選抜差は誕生年に対して変動しながらも+0.5 σ 程度を維持している。肢蹄の遺伝選抜差はかつて正の時期もあったが最近ではほとんど選抜差が得られない状況が続いている。DB 径路は国内で選抜された種雄牛の実態を示している。一方、海外に母牛が在籍した種雄牛の DB 径路は遺伝選抜差が不明である。それゆえ、過去の選抜計画の実態を把握し、今後の改良に応用するには遺伝選抜差の全貌を明らかにするための調査方法を検討する必要がある。

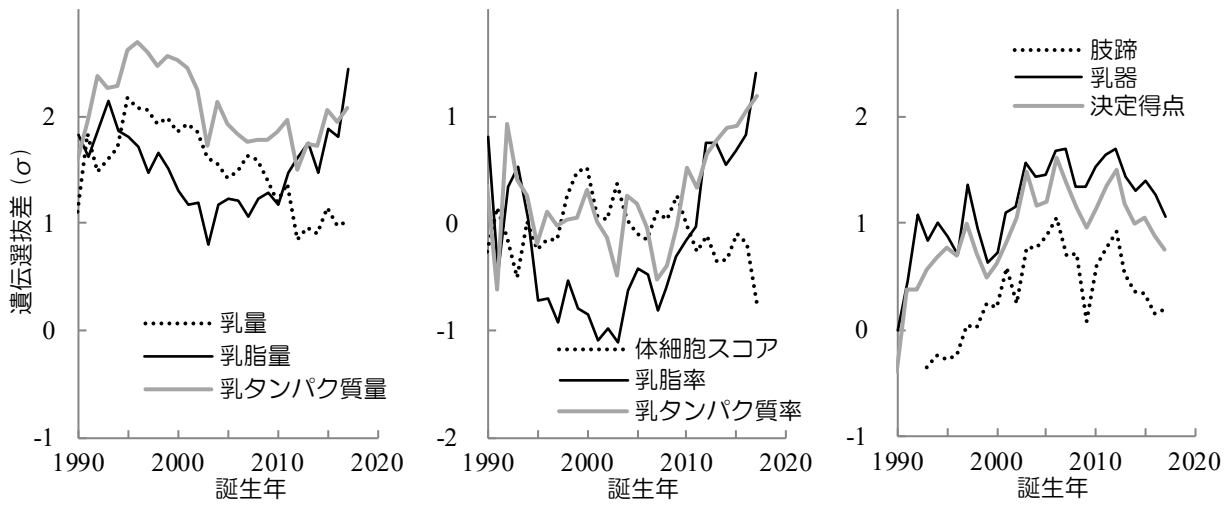


図12-7. SB（父-雄）の経路における泌乳形質と体型形質の遺伝選抜差

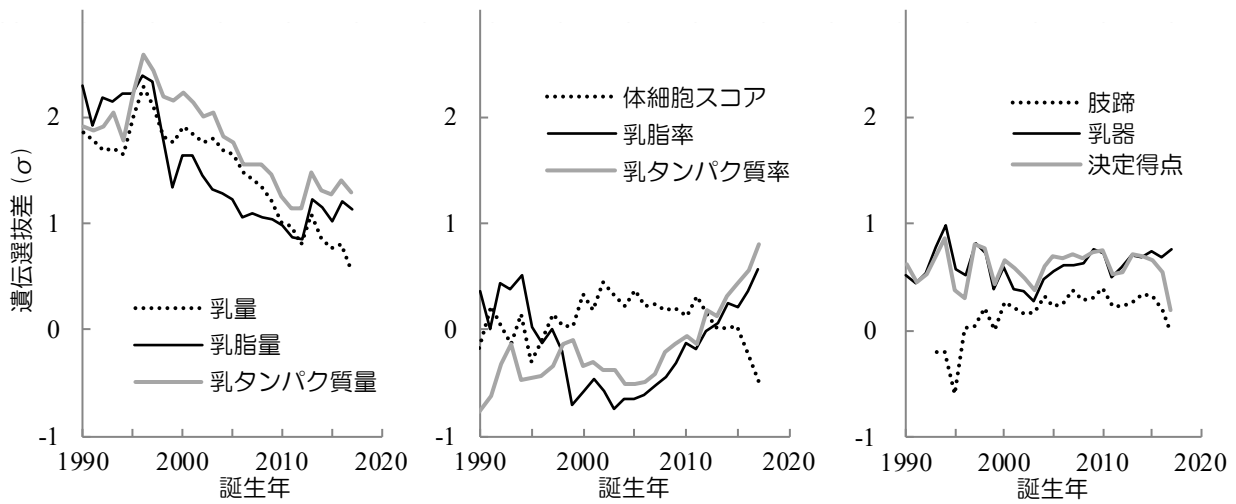


図12-8. DB（母-雄）の経路における泌乳形質と体型形質の遺伝選抜差

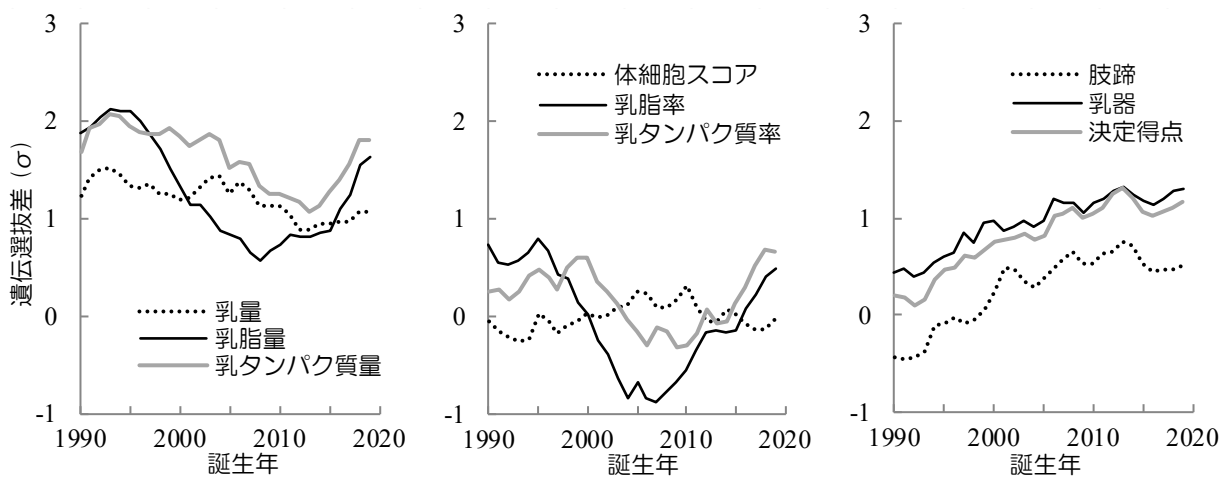


図12-9. SC（父-雌）の経路における泌乳形質と体型形質の遺伝選抜差

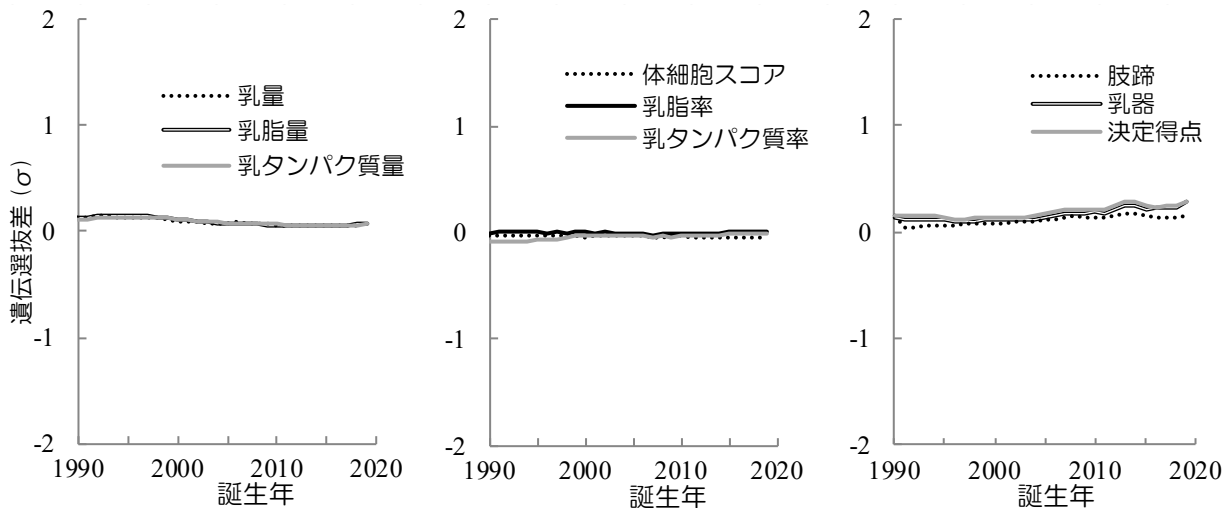


図12-10. DC（母-雌）の経路における泌乳形質と体型形質の遺伝選抜差

図 12-9 には、SC 径路における泌乳形質と体型形質の遺伝選抜差を示した。SC 径路の遺伝選抜差は日本のホルスタイン集団の遺伝改良に直接貢献する径路である。乳量、乳脂量および乳タンパク質量の遺伝選抜差は、1990年代をピークに漸次低下する傾向が認められた。乳脂量の遺伝選抜差は、1990年中頃に約+2.00σ以上あったものが、2008年には+0.57σまで低下した。しかし、乳脂量の遺伝選抜差は2008年以降上昇を続け、2019年には1.64σに回復した。乳タンパク質量の遺伝選抜差は乳脂量と同様に1990年代をピークに減少を続け2013年には1.07σに低下し、その後は上昇し2019年には1.80σを示した。乳脂率と乳タンパク質率の遺伝選抜差は、2000年代に負の値（それぞれ2007年の-0.868σと2009年の-0.313σ）を示したが、その後は上昇し、2015年以降は正に転じた。2019年における乳脂率と乳タンパク質率の遺伝選抜差は、それぞれ+0.50σと+0.66σであった。体細胞スコアの遺伝選抜差は顕著な傾向がまったくみられず、2000年代に正の傾向を示したが、2010年代にはわずかに負の選抜差が得られるようになった(2019年で-0.03σ)。乳房、乳房および決定得点の遺伝選抜差には年次に対して上昇がみられ、2019年において各々+0.51σ、+1.31σおよび+1.17σであった。

図 12-10 には、DC の径路における泌乳形質と体型形質の遺伝選抜差を示した。DC 径路における遺伝選抜差は、最大でも乳房と決定得点においてそれぞれ+0.28σと+0.29σ程度であり、乳脂率と乳タンパク質率はわずかに負の遺伝選抜差が得られた年次もあった。酪農家は体型の遺伝選抜差がわずかに正の値を示していることから、体型の優れた雌牛を選抜している可能性が示唆された。DC 径路は母牛から雌牛を生産するときの選抜であり、主に酪農家関与する径路である。酪農家は乳生産を行うため牛群内のほとんどすべてを分娩させることから、遺伝的能力の高い雌牛のみが子牛を生産するわけではない。それゆえ、遺伝選抜差は非常に低いことが想定される。今回の分析ではその想定内の結果が得られたものと推察された。また、体型審査を受検する酪農家は、その中でも体型に興味を持つ酪農家が多いことから、DC 径路でもわずかに遺伝選抜差が見られたものと推察された。

次に海外種雄牛と国内種雄牛のSB 径路の遺伝選抜差を比較した。なお、前述のとおりDB 径路の遺伝選抜差は国内種雄牛のみ推定できたことから、海外種雄牛と比較することができない。図 12-11 から図 12-13 には各形質におけるSB 径路の国内種雄牛と海外種雄牛の遺伝選抜差を示した。



図12-11. 乳量、乳脂量および乳タンパク質量におけるSB経路の国内種雄牛と海外種雄牛の遺伝選抜差

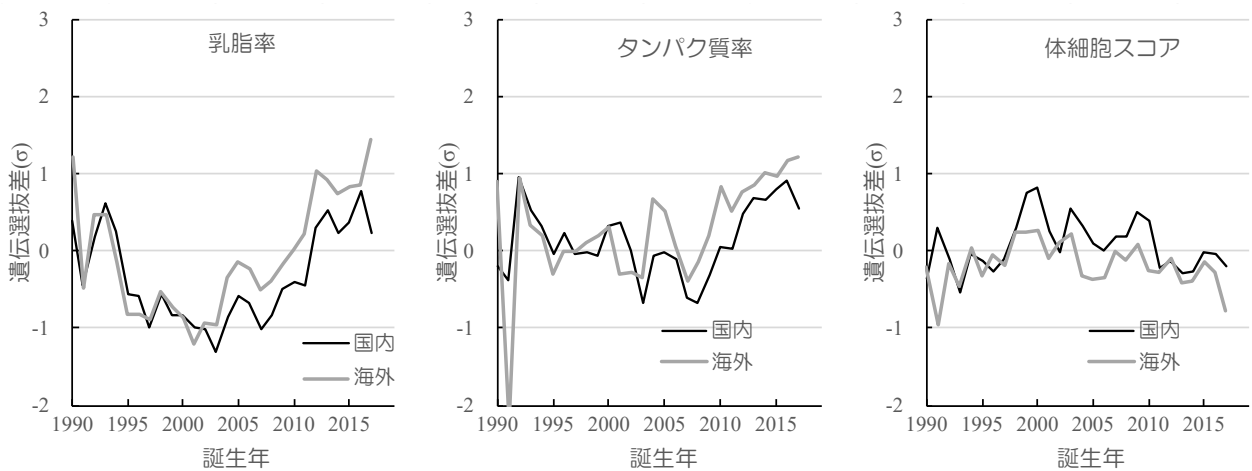


図12-12. 乳脂率、乳タンパク質率および体細胞スコアにおけるSB経路の国内種雄牛と海外種雄牛の遺伝選抜差

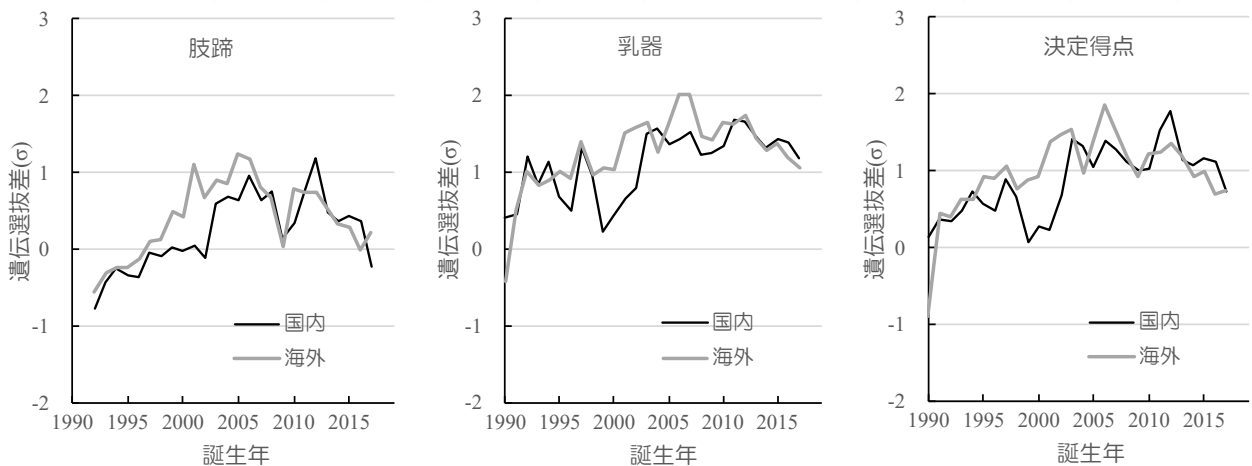


図12-13. 肢蹄、乳器および決定得点におけるSB経路の国内種雄牛と海外種雄牛の遺伝選抜差

乳量と乳成分量の遺伝選抜差は外種雄牛と国内種雄牛において大きな差異がみられなかったが、近年における乳脂量の遺伝選抜差は国内種雄牛の方が高く推定された(2017年において海外種雄牛 1.14σ、国内種雄牛 1.80σ)。乳成分率の遺伝選抜差は2000年代以降上昇を示し、2010年代以降は負から正の遺伝選抜差が得られるようになった。また、2000年代以降、海外種雄牛の方が高い遺伝選抜差を示した。一方、体細胞スコアは海外種雄牛の方が低く、負の遺伝選抜差が生じる傾向が顕著に見られた。体型形質の遺伝選抜差は若干海外種雄牛が長期間高い傾向を示したが、最近では外種雄牛と国内種雄牛の間に大きな違いはみられなかった。

種雄牛の父牛となりうる個体は、MACE 国際遺伝評価値により各国で共有された情報に基づいて選抜されていること、さらに各国の改良目標に大きな違いがないことから、各国でほぼ類似した父牛が選ばれる傾向がある。一方、種雄牛の母牛となりうる個体は各国で遺伝的能力の違いが大きいと推察されるが、海外種雄牛のDB 径路を推定することが難しいことから、今回の分析では考慮することができなかった。海外に在籍する雌牛の遺伝能力を推定する方法としては、種雄牛のMACE 評価値をブレンディングし、種雄牛と雌牛の育種価を再推定する方法やインターブルが公表している変換式(海外評価値から国内評価値の変換する一次回帰式)を利用することができる。しかしこれらの方法は、推定精度が低い可能性がある。DB 径路の遺伝選抜差を明らかにし日本の選抜計画の実態を把握するため、今後どのような方法でDB 径路の遺伝選抜差を推定できるか検討が必要であろう。

(5) 次世代の選抜反応量の予測

表 12-5 には選抜の4 径路における選抜差と世代間隔から予測した将来の年当たり選抜反応量を示した。選抜反応量の予測に使用した遺伝選抜差と世代間隔は、SB とDB 径路において2014年から2017年、SC とDC 径路において2016年から2019年の各5年間の平均値とした。SB 径路とDB 径路の世代間隔はそれぞれ2.73年と2.34年であった。SB 径路とSC 径路の世代間隔はそれぞれ6.74年と3.92年であった。近年、ゲノミック育種価を利用した種雄牛の生産が国内でも本格化していること、さらに海外からのゲノミックヤングブルの精液が国内でも利用できるようになり、SB 径路とDB 径路の世代間隔が短縮したものと考えられる。4 径路における世代間隔の合計は15.73年であった。

表12-5. 選抜の4経路における選抜差と世代間隔から予測した将来の年当たり選抜反応量（遺伝的改良量）

	SB	DB	SC	DC	合計	反応量 ΔG/yr
	2014～2017年		2016～2019年			
世代間隔（年）	2.73	2.34	6.74	3.92	15.73	
選抜差						
乳量	1.011	0.751	1.014	0.055	2.831	0.180
乳脂量	1.901	1.125	1.383	0.064	4.473	0.284
乳タンパク質量	1.954	1.317	1.644	0.061	4.976	0.316
乳脂率	0.865	0.344	0.306	0.009	1.524	0.097
乳タンパク質率	1.013	0.527	0.542	-0.010	2.072	0.132
体細胞スコア	-0.346	-0.168	-0.089	-0.045	-0.648	-0.041
肢蹄	0.258	0.212	0.476	0.143	1.089	0.069
乳器	1.253	0.721	1.229	0.243	3.446	0.219
決定得点	0.914	0.521	1.087	0.250	2.772	0.176

将来における選抜反応量の予測値は乳タンパク質量の+0.316 σ /年が最も高く、次に乳脂量の+0.2843 σ /年であった。乳量の選抜反応量の予測値は+0.180 σ /年に留まった。乳器と決定得点の選抜反応量は乳成分量の次に高い予測値が推定され、それぞれ+0.219 σ /年と+0.176 σ /年であった。乳成分率も近い将来には明確な正の改良量が得られる可能性があり、乳脂率の選抜反応量で+0.097 σ /年、乳タンパク質率で+0.132 σ /年が予測された。体細胞スコアは、-0.041 σ /年と低い選抜反応量でありながら負の方向に改良することが予測された。

4. 結論および考察

世代間隔は2010年以降、選抜の4径路のすべてで短縮した。最も顕著な短縮はSB径路、次にDB径路であった(2017年でそれぞれ2.16年と2.04年)。特に海外種雄牛の短縮が顕著であった。2019年のSC径路とDC径路の世代間隔は6.64年と3.76年であった。SB、SDおよびSCの各径路における乳量と乳成分量の遺伝選抜差は低下傾向を示したが、2010年代に入りSBとSC径路において乳成分量の遺伝選抜差が上昇した。SB、SDおよびSC径路の乳成分率は2000年代に負のGSDを示したことがあったが、2010年代には上昇し正の遺伝選抜差が観測された。体型形質の遺伝選抜差はSC径路で上昇したが、SB径路では2010年代に減少した。DB径路における体型形質の選抜差は変化が小さかった。選抜の4径路の世代間隔と遺伝選抜差から将来の年当たり選抜反応量を予測した。将来の選抜反応量が最も高く予測されたのは乳タンパク質量の+0.316 σ /年であり次に乳脂量の+0.2843 σ /年であった。乳量の選抜反応量は+0.180 σ /年に留まった。乳器と決定得点の選抜反応量は乳成分量の次に高い予測値が得られた(それぞれ+0.219 σ /年と+0.176 σ /年)。乳脂率と乳タンパク質率の選抜反応量はそれぞれ+0.097 σ /年と+0.132 σ /年が予測された。体細胞スコアは負の方向に改良することが予測された。

第13章 生存時間解析を利用したホルスタイン集団における表型的な機能的長命性と遺伝的体型形質の関連

1. はじめに

乳牛における在群期間および生産寿命の延長は産乳能力の向上とともに重要な改良目標である。繁殖成績の低下や乳房炎などを発症した個体は、酪農家にとって不本意な理由で淘汰せざるを得ない場合があり、このような泌乳能力以外の理由で決定する長命性のことを機能的長命性または機能的在群能力と呼ぶ。機能的長命性に対する体型形質の影響については、線形式体型審査法が開発されて以来、詳細な研究が行われ、体型の改良方針を決める上で非常に役に立っている。

本研究では、育種面に基づく体型の改良方向を特定するため、遺伝的な体型形質に対する表型的な機能的長命性の関係を調査するため、ワイブル比例ハザードモデルによる生存時間解析を行った。

2. 分析方法

(1) 分析データの抽出

分析では、2004年4月から2019年3月までの期間に能力検定を受検し、その期間内において18から35ヵ月齢の範囲で初産分娩したホルスタイン登録雌牛を抽出した。これらは産次に欠測がなく、かつ各産次から次産次までの日数または産次途中で除籍されている場合は最終産次から除籍までの日数が明らかな雌牛である。さらに、これらの雌牛は初産の乳期中に体型審査記録を持ち、育種面が推定された個体に制限した。分析には、5つの体型得点形質と20の線形式体型形質である。

牛群に在籍したことを示す記録は産次別に打ち切りまたは除籍の有無が判断できるように編集した。最終分娩から除籍または最終打ち切りまでの日数は550日(1.5年)に制限した。最終分娩から除籍または最終打ち切りまで長期に及ぶ記録は除籍コードが報告されないまま他の牛群で次産分娩している可能性もあり、除籍の報告を待つことなく最終分娩後1.5年を目安に制限を加えた。

データセットを構成する雌牛数は273,904頭である。歩様は動作と肢の運びを評価する形質であるため、データ収集ができたのは放し飼い集団に属する一部の雌牛に限られた。それゆえ、歩様の記録数は他の体型形質よりも少なく、分析には雌牛77,764頭の記録が使用された。表13-1には雌牛数、産次数および牛群数、さらに打ち切り記録と切断記録のそれぞれ記録数、記録数の割合および平均日数を示した。平均日数は分娩から次産の分娩(打ち切り)または除籍(切断)までの日数の平均である。

表13-1. 雌牛数、産次数および牛群数、さらに右打ち切り記録と除籍記録における産次数、産次数の割合および産次当たり平均日数

形質区分	雌牛数	産次数	牛群数	在籍(右打ち切り)			除 籍		
				記録数	割合%	平均日数	記録数	割合%	平均日数
24形質	273,903	800,773	4,863	603,434	75.4	410	197,339	24.6	321
歩様	77,764	216,362	2,022	161,996	74.9	400	54,366	25.1	317

(2) 分析用のモデル

体型形質に対する機能的長命性の生存時間解析に使用したモデルは以下のワイブル比例ハザードモデルである。

$$h(t) = h_{0,s}(t) \exp\{YS_i(t') + LS_j(t'') + A_k + M_l(t''') + F_m(t''') + T_n + hy_o(t''')\}$$

ここで、 $h(t)$ は各産次の分娩後 t 日目における雌牛の淘汰の確率を示すハザード関数である。機能的長命性の測定値 t は分娩から次の分娩または淘汰までの日数である。 $h_{0,s}(t)$ は産次を基礎とするワイブル比例ハザード関数であり、尺度パラメータ(λ)と形状パラメータ(ρ_s)を用いることで $h_{0,s}(t) = \lambda\rho_s(\lambda t)^{\rho_s-1}$ と示される。ここで、0は基準線ハザード、 s は産次を基礎とする層を示している。 $s (=1, 2, \dots, 8)$ は初産から7産までをそれぞれの層とし、8産以上の記録を持つ雌牛は8産に含めた。

$YS_i(t')$ は年次と季節のサブクラスで変化する時間依存型の母数効果である。年次・季節の変化時点 t' は毎年1月1日、3月1日、5月1日、7月1日、9月1日および11月1日である。 $LS_j(t'')$ は泌乳ステージの4つの範囲(t'' は、 ≤ 90 日、91-180日、181-305日および ≥ 306 日)で変化する時間依存型の母数効果である。 A_k は初産分娩月齢を示す時間独立型の母数効果であり、 k は12区分とし具体的には21カ月齢以下、22から29カ月齢まで各月齢別に8クラス、30-31カ月齢、32-33カ月齢および34-35カ月齢の各クラスに分類した。 $M_l(t''')$ と $F_m(t''')$ は各乳期の始まりを変化時点 t''' とする時間依存型の効果であり、それぞれ l 番目と m 番目クラスの乳量と乳脂量のレベルを示している。ここで、具体的に $M_l(t''')$ と $F_m(t''')$ は初産乳量と初産乳脂量(305日以下は拡張)における成牛換算補正値の牛群年次サブクラス平均から標準偏差単位(σ)の偏差によって10クラスに分類した($\leq -2.0\sigma$ 、 $> -2.0\sigma$ から $\leq -1.5\sigma$ 、 $> -1.5\sigma$ から $\leq -1.0\sigma$ 、 $> -1.0\sigma$ から $\leq -0.5\sigma$ 、 $> -0.5\sigma$ から $\leq 0.0\sigma$ 、 $> 0.0\sigma$ から $\leq 0.5\sigma$ 、 $> 0.5\sigma$ から $\leq 1.0\sigma$ 、 $> 1.0\sigma$ から $\leq 1.5\sigma$ 、 $> 1.5\sigma$ から $\leq 2.0\sigma$ および $> 2.0\sigma$)。 T_n は初産次に採点された n 番目の線形式体型形質のスコアであり、時間独立型の母数効果である。

各体型形質の育種値は標準偏差単位に変換して小数点以下を四捨五入し、 -2σ 、 -1σ 、 0σ 、 $+1\sigma$ および 2σ の5グループに分類した。 $hy_o(t''')$ は o 番目の分娩時の牛群・年次サブクラスに関する時間依存型の変量効果である。牛群・年次効果のパラメータ(γ)は対数ガンマ分布に従うと仮定した。なお、雌牛が所属する牛群の変化時点 t''' は分娩した時点(乳期の始まり)とし、乳期中に移動し牛群が変化しても次の分娩まで移動していないものと仮定した。分析には生存時間解析プログラムSurvival Kit 6.12を使用した(Mészárosら 2013)。

表13-2. 産次に基づく各層に関する雌牛数、在籍牛の割合(%)およびワイブル形状パラメータの推定値(ρ)、さらに牛群年次の同期グループが対数ガンマ分布に従うと仮定した場合のガンマパラメータ推定値(γ)

産次	24の体型形質			歩 様		
	雌牛数	在籍(%)	ρ	雌牛数	在籍(%)	ρ
1	273,903	88.8	3.75	77,764	88.0	3.82
2	221,689	77.0	2.57	62,916	75.9	2.58
3	148,056	67.7	2.41	39,432	66.7	2.41
4	85,330	60.7	2.38	20,665	58.5	2.40
5	43,361	54.0	2.36	9,705	49.8	2.35
6	19,079	49.6	2.34	4,058	45.2	2.35
7	7,181	46.9	2.36	1,418	43.4	2.40
7<	2,174	45.1	2.28	404	39.6	2.26
γ	2.85			2.83		

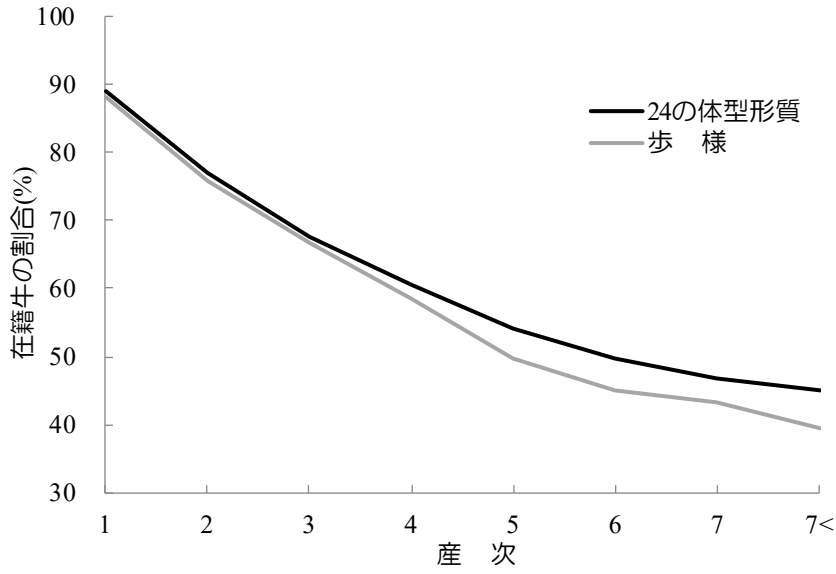


図13-1. 各産次における在籍牛の割合

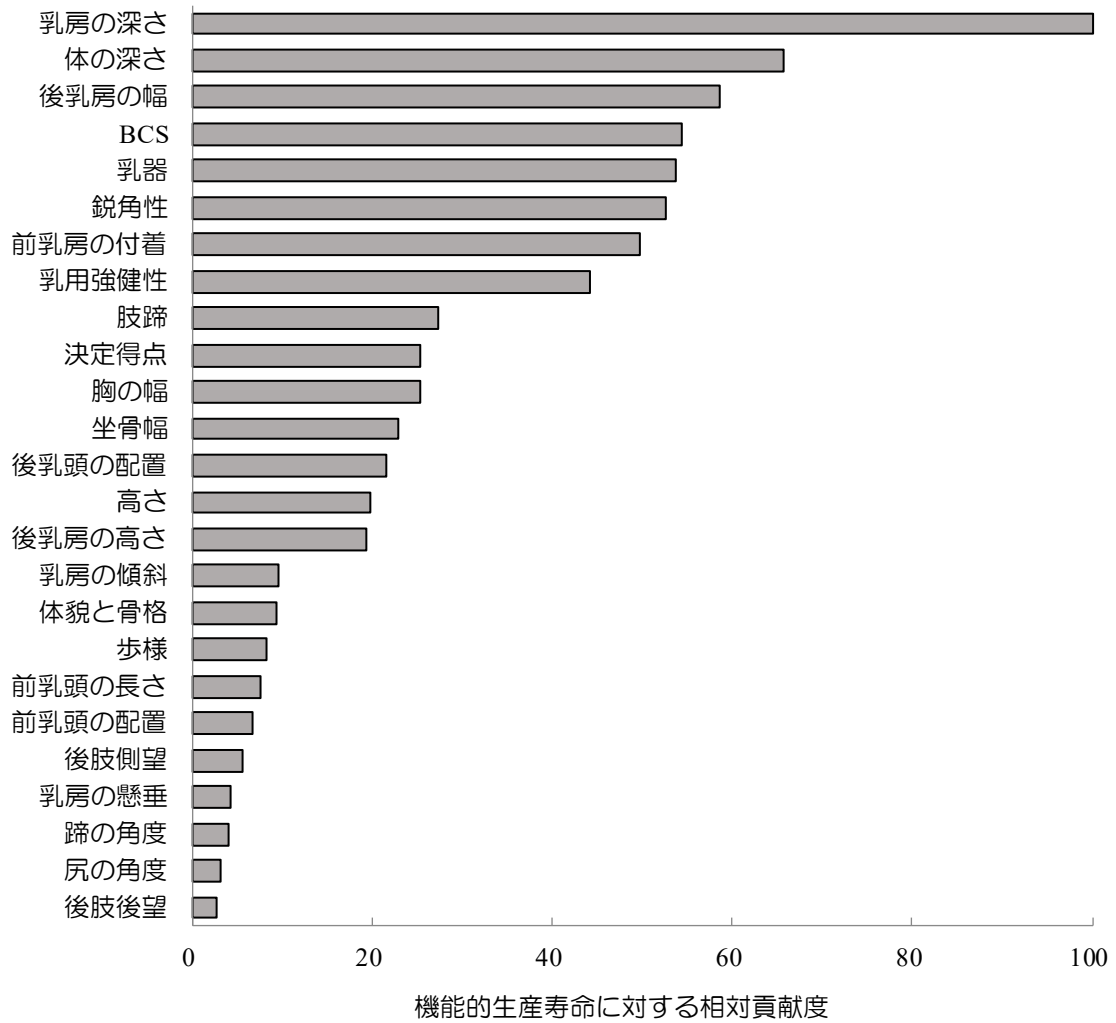


図13-2. 機能的生産寿命に対する各体型形質の遺伝的な相対貢献度

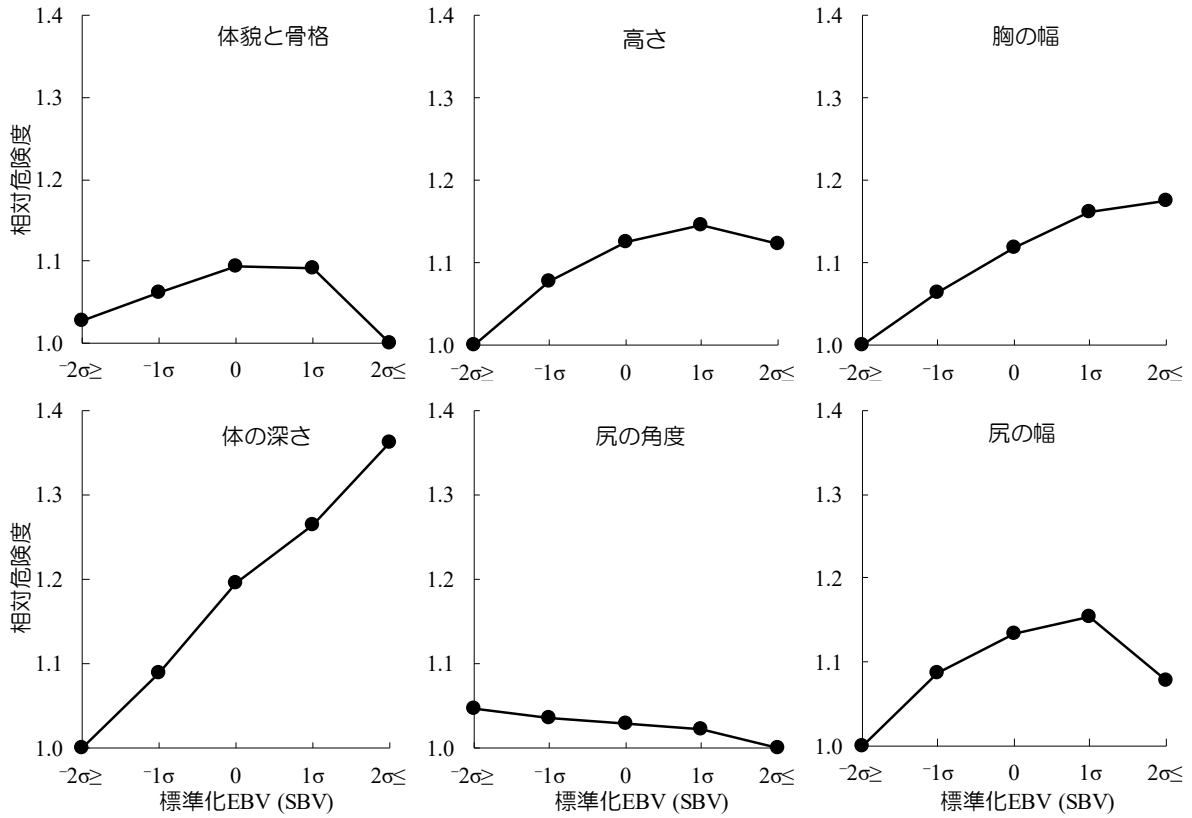


図13.3. 体の大きさに関連する形質の育種価(標準化育種価)に対する雌牛の淘汰の相対危険度

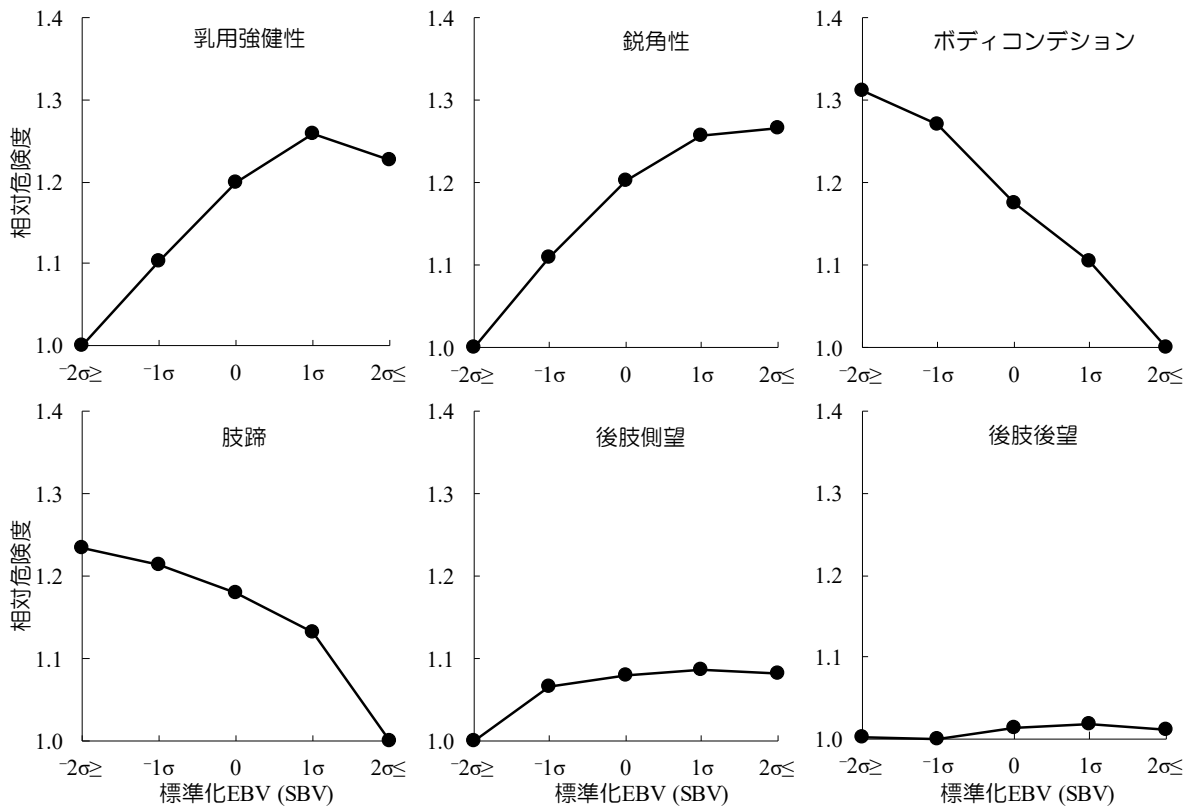


図13.4. 乳用性および肢蹄に関連する形質の育種価(標準化育種価)に対する雌牛の淘汰の相対危険度

3. 結果と考察

(1) 分析に使用したホルスタイン集団の特徴

表 13-2 には、産次別の雌牛数、在籍率および ρ の平均値、さらに γ の平均値を示した。また、図 13-1 には各産次における在籍牛の割合を示した。初産時の打ち切り記録、すなわち在籍中の雌牛割合(在籍率)は 88.8% であった。在籍率は産次の上昇とともに減少し 8 産では 45.1%、歩様のデータを有する記録では 39.6% まで減少した。産次の階層別に推定された ρ の平均値は産次の進行に伴い 3.75 から 2.28 (歩様のデータを有する記録は 3.82 から 2.26) に低下した。 γ は牛群・年次の同期グループ効果に起因する雌牛の生存率の変動を説明するパラメータである。 γ の平均値は 2.85 であり、歩様のデータを有する集団の 2.83 と比較しほとんど差異は認められなかった。

(2) 各体型形質における相対貢献度

図 13-2 には機能的長命性の表型値に対する各線形式体型形質の育種価に関する相対貢献度を示した。相対貢献度は体型形質を含まない縮約化モデルと各体型形質をそれぞれ含む完全モデルの対数尤度(-2logL)の差の最大を 100%とした時の割合で示した。

相対貢献度が比較的大きい形質は乳房の深さ(100%)、体の深さ(65.6%)、後乳房の幅(58.5%)、ボディコンデション(54.4%)、乳器(53.6%)および鋭角性(52.6%)であった。体の大きさに関する形質の相対貢献度は体の深さにおいて大きく、胸の幅(25.3%)、坐骨幅(22.9%)および高さ(19.7%)の相対貢献度は中程度の大きさを示した。乳用特質に関連する形質では、鋭角性と乳用強健性(44.3%)が比較的大きな貢献度を示すグループに分類された。肢蹄に関連する形質の中で最も相対危険度が大きい形質は肢蹄の 27.3% であり、それ以外の形質は歩様(8.3%)、後肢側望(5.5%)、蹄の角度(3.0%)および後肢後望(2.7%)であり、比較的相対危険度が低いグループに分類された。

乳房に関連する形質は、乳房の深さ、後乳房の幅、乳器および前乳房の付着(49.8%)のように相対貢献度が大きい形質、後乳頭の配置(21.7%)や後乳房の高さ(19.4%)のような中程度の貢献度を示すグループ、さらに乳房の傾斜(9.7%)、前乳頭の長さ(7.6)、前乳頭の配置(6.6%)および乳房の懸垂(4.3%)のように比較的貢献度が小さいグループに分けられた。

(3) 機能的在群期間に対する体型形質の影響

体の大きさに関する形質

図 13-3 には体貌と骨格、高さ、胸の幅、体の深さ、尻の角度および尻の幅の各育種価に対する機能的長命性の関係を淘汰の相対危険度により示した。各体型形質の相対危険度は、1.0 を与えた育種価のグループに対して他のグループの相対危険度が何倍高いかを示している。すべての体型形質における淘汰の相対危険度は有意($P < 0.01$)に推定された。体貌と骨格の育種価が 2σ から 1σ まで相対危険度が上昇したが、 2σ 以上の相対危険度は低下した。体貌と骨格は体の大きさと関連する線形形質との間に正の遺伝相関が存在する。それゆえ、体貌と骨格はある一定の水準まで大型化と共に淘汰の相対危険度が上昇するが、体貌と骨格の育種価が特に高い個体は淘汰の危険性が喪失すると考えられた。高さ、胸の幅および尻の幅は、体の大きさに関連する形質であるが、大型化と共に淘汰の危険性が上昇するが、 1σ の育種価を超えると胸の幅では相対危険度の上昇が緩慢になり、高さと尻の幅では相対危険度が低下する傾向がみられた。一方、体の深さは育種価に対して直線的に淘汰の相対危険度が上昇した。尻の角度は腰角より坐骨が高い(ハイピン)形状を示

すことは僅かに相対危険度が高い結果が得られた。このように、遺伝的に大型な個体は、淘汰の相対危険度が高い傾向が認められた。

乳用性に関する形質

図 13-4 には乳用性に関連する乳用強健性、鋭角性およびボディコンディションの各育種面に対する機能的長命性の関係を淘汰の相対危険度により示した。乳用強健性および鋭角性の相対危険度はどちらも1σまで上昇したが、2σ以上では乳用強健性において相対危険度が若干低下、鋭角性において相対危険度の上昇が緩慢になった。一方、ボディコンディションは育種面の上昇に伴い相対危険度が減少する傾向が見られた。以上のことから、乳用性の優れた個体ほど淘汰の危険性が高いことが判明した。

肢蹄に関する形質

図 13-4 の下側には肢蹄、後肢側望および後肢後望、図 13-5 の上側には蹄の角度と歩様の各育種面に対する雌牛の淘汰の相対危険度を示した。肢蹄の育種面において2σ以上のクラスにおいて相対危険度が最も低く、反対に2σ以下のクラスに属する雌牛は、2σ以上のクラスと比較し相対危険度が1.24 倍高かった。後肢側望と蹄の角度は-2σ以下、後肢後望は1σ以下において最も相対危険度が低く、それらより育種面が高いクラスでは相対危険度が若干高かったが、相対危険度の最高と最低との差は非常に小さく0.1 倍を超えることはなかった。歩様は2σ以上のクラスにおいて相対危険度が最も低く、反対に2σ以下のクラスにおいて相対危険度が1.12 倍高かった。以上のことから、機能的長命性との関係が明確に認められたのは肢蹄と歩様の育種面であり、後肢側望、後肢後望および蹄の角度に関しては機能的長命性との関係が希薄であった。

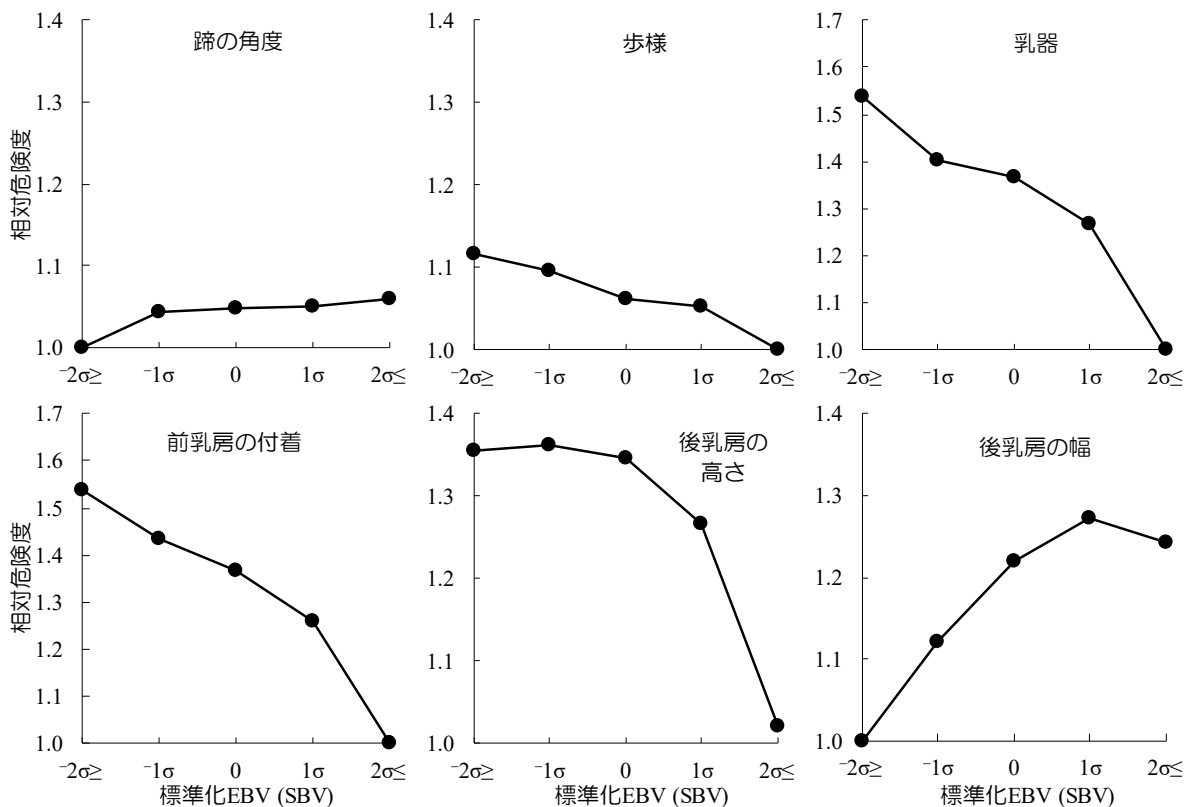


図13-5. 肢蹄および乳房に関連する形質の育種価(標準化育種価)に対する雌牛の淘汰の相対危険度

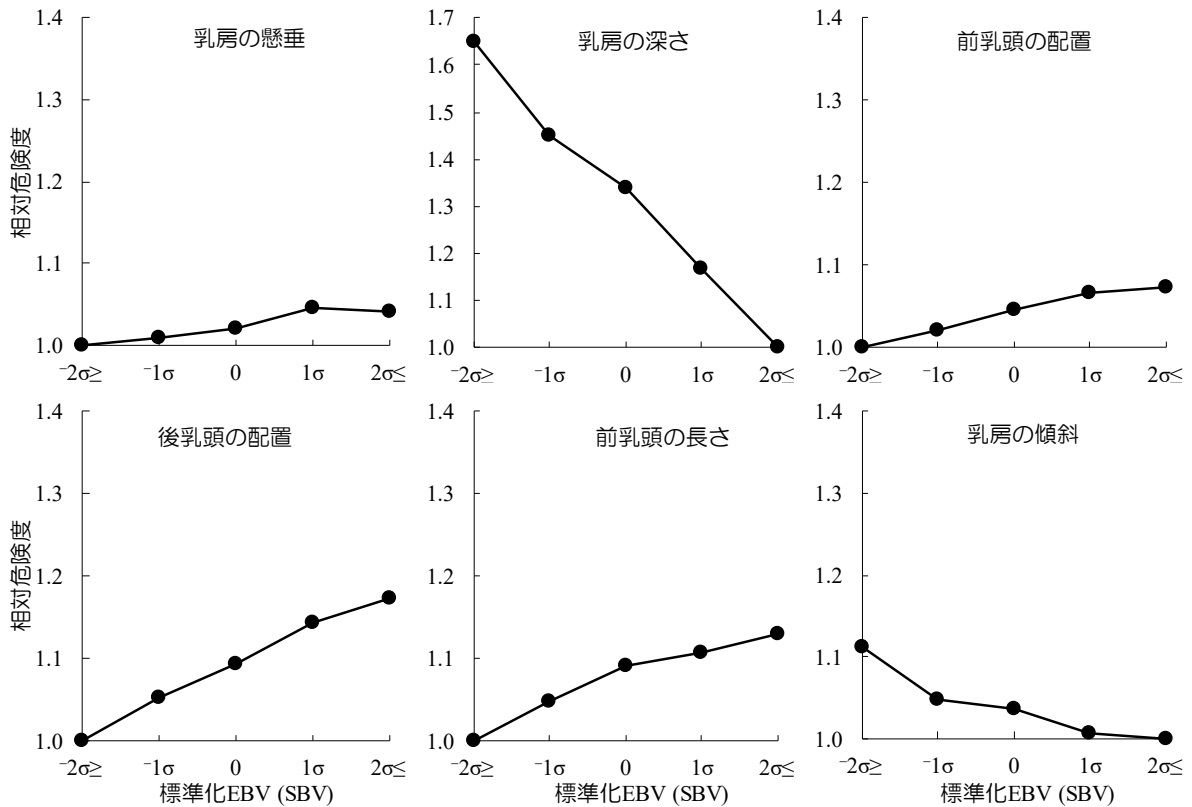


図13-6. 乳房に関連する形質の育種価(標準化育種価)に対する雌牛の淘汰の相対危険度

乳房に関する形質

図 13-5 の下側および図 13-6 には、乳房に関する各体型形質の育種価に対する機能的長命性の関係を淘汰の相対危険度により示した。乳房、前乳房の付着および乳房の深さは、どちらも育種価がより高い個体ほど相対危険度が低下した。特に乳房の深さの相対危険度は変化が最も大きく、 -2σ 以下のクラス(飛節より乳房底面が低い)の相対危険度は $+2\sigma$ 以上のクラスと比較し 1.65 倍大きかった。乳房と前乳房の付着の 2σ における相対危険度は $+2\sigma$ 以上のクラスと比較し、どちらも 1.54 倍大きかった。後乳房の高さは、乳房や乳房の深さと同様、育種価の上昇に伴い相対危険度が小さくなる傾向が認められるが、育種価が 0 より低いクラスでは相対危険度が 1.35 倍を維持していたが、育種価がプラスになると急激に相対危険度が小さくなった。乳房の傾斜も -2σ 以下のクラス(極度に後乳区が低く傾斜)において相対危険度が上昇したが、その危険度は最大で 1.1 倍であり小さかった。

一方、後乳房の幅、乳房の懸垂、前乳頭の配置、後乳頭の配置および前乳頭の長さでは、 -2σ 以下のクラスと比較し、 $+2\sigma$ 以上のクラスの相対危険度が高く推定された。後乳房の幅は、より育種価が高いほど(後乳房が広い)相対危険度が高く、最大で 1σ のクラスにおいて 1.27 倍の相対危険度を示した。乳房の懸垂は、育種価が高いクラス($+2\sigma$ 以上のクラスにおいて 1.04 倍)において、わずかに相対危険度が大きかった。前乳頭の配置と後乳頭の配置は、育種価がより高くなるほど(極度に内付き)、相対危険度が上昇した。また、乳頭の長さは、育種価の数値が大きいほど(乳頭が長いほど)、淘汰の相対危険度が上昇した。

最後に、図 13-7 には決定得点の育種価(標準化育種価)に対する雌牛の淘汰の相対危険度を示した。決定得点の育種価がより低いほど淘汰の危険性が増加した。一方、決定得点の育種価の上昇と共に淘汰の危険性が徐々に低下したが、 $+2\sigma$ 以上のクラスではより明瞭に淘汰の危険性が低かった。

4. 結論および考察

本分析は、体型の遺伝的成分と機能的長命性の表型的成分の関係を示しているが、体型の遺伝的成分と機能的長命性の表型的成分がそれぞれ独立であると仮定すると、近似的ではあるが遺伝的關係を示していると言える。高さ、体の深さおよび胸の幅のような体の大きさに関係する形質が遺伝的に高いほど、淘汰の相対危険度が上昇した。乳用強健性と鋭角性に関して、これらの形質が遺伝的に高い個体は淘汰の危険性が高くなった。肢蹄に關係する形質として、特に肢蹄と歩様の育種価が高い個体は淘汰の相対危険度が低下し、機能的長命性が延長する傾向が認められた。乳房の深さ、乳房の付着、後乳房の高さおよび乳器において、より育種価の高い個体ほど淘汰の相対危険度が低下し、機能的長命性の延長が期待できることが明らかであった。一方、後乳房の幅と乳房の懸垂はこれらの形質の育種価が高いほど淘汰の相対危険度が上昇し、機能的長命性が短縮する傾向が認められた。前乳頭の配置と後乳頭の配置は育種価がプラスに偏るほど(内付き方向)淘汰の危険性が増し、機能的長命性の短縮につながった。それゆえ、前乳頭の配置と後乳頭の配置は負の方向に改良することが望ましい。

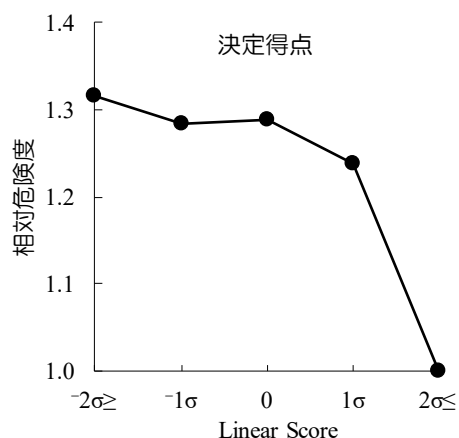


図13-7. 決定得点の育種価(標準化育種価)に対する雌牛の淘汰の相対危険度

第14章 回帰分析を利用したホルスタイン集団における機能的長命性と体型形質の遺伝的関連

1. はじめに

「令和2年度乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究事業」ではワイブル比例ハザードモデルによる生存時間解析を利用して機能的長命性と体型形質の表型的関係を明らかにした。また、本事業報告書の前章では同様な生存時間解析を利用し、体型形質の育種価(EBV)に対する機能的長命性の影響を調査した。この分析では遺伝的な体型形質値に対する表型的な機能的長命性の関係を調査しているが、これらの遺伝的成分と環境的成分が各々独立と仮定すれば近似的ではあるが遺伝的関係を表すと考えられる。それゆえ、生存時間解析では機能的長命性と体型形質の遺伝的関係を直接分析できない。そこで、本分析では回帰分析を利用して機能的長命性と体型形質の遺伝的関係を明らかにした。

2. 分析方法

(1) 分析データの抽出

分析には2021年5月までに集積した体型形質と牛群検定のデータから推定されたEBVを使用した。長命性は生産期間84と在群能力の2種類の形質を使用した。機能的長命性と体型形質の遺伝的関係を調査するために乳量のEBVを利用して泌乳能力の影響を補正した。在群能力のEBVは2020年8月から独立行政法人家畜改良センターが公表しているEBVと同じ方法で推定した。生産期間84と体型形質の両方のEBVを欠測なく持つ雌牛は924,196頭、同様に在群能力と体型形質の両方のEBVを持つ雌牛は823,386頭存在した。すべての形質のEBVは、2015年生れの雌牛の平均がゼロ、標準偏差が1になるように補正した。

泌乳形質と体型形質は長命性形質との関係が年次と共に徐々に変化する傾向がある。本分析ではより最近の関係を調査するため、2010年から2014年の5年間に生まれた雌牛のEBVを抽出した。生産期間84は最大で生後7年間の泌乳期間の合計月数により集計した形質である。在群能力は3産までの在群の有無を判断した形質であり、これは生後5から6年程度の長命性を評価していることから、生産期間84よりも考慮する期間が短い。それゆえ、生産期間84の記録が確定した時期、すなわち2021年より7年間遡り、2014以前に生まれた雌牛の記録に制限した。最終的に本分析に採用した記録は上述したように2004年から2014年の5年間の範囲とした。

体型形質は、決定得点とそれを構成する体型4部位(体貌と骨格、乳用強健性、肢蹄および乳器)および22の線形式体型形質であり、合計27形質を分析に使用した。それらの形質は表14-1に示したとおりである。これらのデータは長命性、乳量および体型のすべての形質においてEBVに欠測がないように編集した。その結果、2種類のデータセットを作成し、生産期間84の分析にはデータセットI(295,296記録)、在群能力の分析にはデータセットII(294,062記録)を使用した。歩様のEBVは多形質アニマルモデルで評価されているため、欠測値を持たない。各形質のEBVは2015年生れの雌牛集団の平均をゼロ、標準偏差を1.0に補正した。それゆえ、正の方向にトレンドが生じている形質は平均値が負値、反対に負の方向にトレンドがある形質は正值に若干偏っている。歩様のEBVの信頼度は平均38.6%であり、これは乳房の傾斜の31.3%、蹄の角度の32.5%および後肢後望36.0%よりも高かった。

(2) 分析用のモデル

分析では長命性に影響を及ぼす産乳量の要因を除去する目的で基本となるモデル1を作成した。

$$\text{モデル1: } y_i = \mu + b_1 bvm_i + b_2 bvm_i^2 + e_i$$

ここで、 y_i は*i*番目雌牛の生産期間84(データセットIの分析)または在群能力(データセットIIの分析)のEBV、 μ は集団平均、 bvm_i は*i*番目雌牛の乳量のEBV、 b_1 と b_2 はそれぞれ1次と2次の乳量のEBVに対する偏回帰係数である。次に、体型形質に対する機能的長命性に対する回帰モデルを以下のとおりモデル2として仮定した。

$$\text{モデル2: } y_{ij} = \mu + b_1 bvm_i + b_2 bvm_i^2 + q_{1j} bvt_{ij} + q_{2j} bvt_{ij}^2 + e_{ij}$$

表14-1. データセットI(生産期間84の育種価に欠測がない)とデータセットII(在群能力の育種価に欠測がない)における長命性の形質(生産期間84または在群能力)、乳量および体型形質の各育種価の平均値と標準偏差(SD)

形質	データセットI				データセットII			
	育種価		信頼度(%)		育種価		信頼度(%)	
	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
長命性の形質	-2.04	2.34	40.2	5.0	-0.19	0.92	38.1	4.8
乳量	-292	484	62.1	4.4	-292	484	62.1	4.4
体貌と骨格	-0.41	1.06	47.7	5.3	-0.41	1.06	47.7	5.3
肢蹄	-0.01	1.00	38.5	5.7	-0.01	1.00	38.5	5.3
乳用強健性	-0.18	1.00	48.2	5.3	-0.18	1.00	48.2	5.7
乳器	-0.29	0.96	40.7	5.2	-0.29	0.96	40.7	5.3
決定得点	-0.43	1.04	45.1	6.1	-0.43	1.04	45.1	5.2
高さ	-0.63	1.04	60.4	6.3	-0.63	1.04	60.4	6.1
胸の幅	-0.37	1.10	44.4	6.4	-0.37	1.10	44.4	6.3
体の深さ	-0.23	1.03	49.6	6.5	-0.23	1.03	49.6	6.4
鋭角性	-0.39	1.01	43.8	5.9	-0.39	1.01	43.8	6.5
尻の角度	-0.04	1.01	51.9	6.3	-0.04	1.01	51.9	6.0
坐骨幅	-0.60	0.96	49.1	6.3	-0.60	0.96	49.1	6.3
後肢側望	0.06	0.98	43.6	5.9	0.06	0.98	43.6	6.3
後肢後望	0.02	1.00	36.0	6.1	0.02	1.00	36.0	5.9
蹄の角度	-0.06	1.04	32.5	6.1	-0.06	1.04	32.5	6.1
歩様	-0.21	1.01	38.6	5.1	-0.21	1.01	38.6	5.1
前乳房の付着	-0.55	0.92	42.3	6.1	-0.55	0.92	42.3	6.1
後乳房の高さ	-0.87	1.06	44.3	6.2	-0.87	1.06	44.3	6.2
後乳房の幅	-0.52	1.00	43.3	6.3	-0.52	1.00	43.3	6.3
乳房の懸垂	0.01	0.99	43.1	5.9	0.01	0.99	43.1	5.9
乳房の深さ	-0.84	0.96	53.8	6.3	-0.84	0.96	53.8	6.3
前乳頭の配置	-0.33	1.00	51.1	6.5	-0.33	1.00	51.1	6.5
前乳頭の長さ	0.16	0.97	54.5	6.4	0.16	0.97	54.5	6.4
後乳頭の配置	-0.23	1.03	48.5	6.2	-0.23	1.03	48.5	6.2
乳房の傾斜	-0.14	1.06	31.3	6.1	-0.14	1.06	31.3	6.1
ボディコンディション	0.34	0.95	41.7	6.7	0.34	0.95	41.7	6.7

2004年から2014年生れの雌牛

ここで、 bvt_{ij} は*i*番目雌牛の*j*番目体型形質におけるEBV、 q_{1j} と q_{2j} は*j*番目の体型形質における1次と2次の偏回帰係数である。 e_{ij} は残差であり、分散が σ_e^2 で期待値0を持つ変量効果である。分析にはSASのGLMを使用した(SAS/STAT ユーザーズガイド, 1990)。

3. 結果と考察

(1) 長命性に関連する2形質(生産期間84と在群能力)

表14-2には全雌牛記録と2004年から2014年生れの雌牛に制限した2種類のデータセットにおける生産期間84、在群能力および乳量の各EBVの相関を示した。生産期間84と在群能力のEBV間の相関は全記録で0.76であったが、最近の記録に制限すると0.89に上昇した。乳量のEBVと生産期間84のEBVの相関は全記録において0.51であったが、最近の記録に制限すると0.16に低下し低い相関になった。同様に乳量と在群能力の各EBV間の相関は全記録および最近の記録に制限したデータセットでも無相関であり、それぞれ0.01と-0.01であった。生産期間84のEBVは乳量のEBVと正の相関があったが、最近の記録では泌乳能力の影響が低下する傾向が認められた。一方、在群能力におけるEBVの推定では泌乳能力の補正を行っていないが、泌乳能力の影響がほとんど認められなかった。この結果は泌乳能力が長命性を決定付ける要因であるが、最近ではその影響が低下していることを示唆している。

表14-3には乳量のEBVに対する生産期間84と在群能力の各EBVの回帰分析によって推定された決定係数と回帰係数を示した。乳量のEBVが生産期間84のEBVを説明する割合は2.79%と低く、1次と2次の回帰係数から生産期間84のEBVは乳量のEBVと有意な正の関係が認められた。一方、在群能力の場合は乳量のEBVによって0.19%しか説明できなかった。また、乳量のEBVに対する在群能力のEBVの回帰係数は負の関係が認められた。

表14-2. 全雌牛記録と最近の記録に制限した記録における生産期間84、在群能力および乳量の各育種価間の相関

	全記録		2004-2014年生れの範囲	
	生産期間84	在群能力	生産期間84	在群能力
生産期間84				
在群能力	0.76		0.89	
乳量	0.51	0.01	0.16	-0.01

すべての相関は有意($P < 0.01$)

表14-3. 乳量の育種価に対する生産期間84と在群能力の各育種価の回帰分析 (2004-2014年生まれの雌牛記録)

	データセット I (生産期間84)			データセット II (在群能力)		
	R ² (%)	1次	2次	R ² (%)	1次	2次
乳量の育種価	2.79	0.927×10^{-3}	0.233×10^{-6}	0.19	0.372×10^{-4}	0.110×10^{-6}

すべての回帰係数は有意($P < 0.01$)

(2) 長命性に対する体型形質の遺伝的関係

表 14-4 には、各体型形質の EBV に対する機能的生産期間 84(モデル 2)と機能的在群能力(モデル 2)の各 EBV の 1 次と 2 次回帰の決定係数(R^2)と回帰係数を示した。決定係数はモデル 1 とモデル 2 のそれぞれの決定係数の差として表示した。2 次の回帰係数が有意に推定できなかった場合は、一次回帰係数のみを示した。体の大きさに関係する形質は体貌と骨格、高さ、胸の幅、体の深さ坐骨幅であるが、決定係数の大きさから機能的生産期間 84 と比較し機能的在群能力を説明する割合が高い傾向が認められた。機能的在群能力の説明量が比較的大きな形質としては、決定係数の大きさから体の深さの 3.57%、胸の幅の 1.65%、坐骨幅の 1.10%および高さの 0.42%であった。図 14-1 と図 14-2 には、体の大きさに関する体型形質の EBV に対する機能的生産期間 84 と機能的在群能力の EBV の回帰曲線を示した。機能的生産期間 84 と機能的在群能力の EBV の変化を比較し易くするため標準化して図示した。体の大きさに関する EBV に対し、機能的生産期間 84 および機能的在群能力のどちらの EBV も低下する傾向が認められた。大型化への選抜は長命性の短縮化を誘引する間接反応が生じることが示唆された。

表14-4. 各体型形質の育種価に対する機能的生産期間84と機能的在群能力の各育種価の1次と2次回帰の決定係数(R^2)と回帰係数

形 質	機能的生産期間84			機能的在群能力		
	R^2 (%)	1次	2次	R^2 (%)	1次	2次
体貌と骨格	0.48	0.061 **	0.107 **	0.37	-0.016 **	0.028 **
肢蹄	1.00	0.211 **	0.062 **	0.87	0.073 **	0.027 **
乳用強健性	3.07	-0.309 **	0.165 **	3.63	-0.156 **	0.044 **
乳器	3.64	0.492 **	0.060 **	2.37	0.155 **	0.018 **
決定得点	1.27	0.281 **	0.081 **	0.44	0.064 **	0.023 **
高さ	0.26	0.080 **	0.082 **	0.42	-0.039 **	0.013 **
胸の幅	1.33	-0.229 **	0.020 **	1.65	-0.109 **	NS
体の深さ	2.80	-0.361 **	0.034 **	3.57	-0.171 **	-0.005 **
鋭角性	2.17	-0.218 **	0.117 **	3.97	-0.163 **	0.024 **
尻の角度	0.23	0.104 **	0.044 **	0.21	0.040 **	0.015 **
坐骨幅	0.80	NS	0.125 **	1.10	-0.034 **	0.042 **
後肢側望	0.13	-0.063 **	0.045 **	0.12	-0.017 **	0.021 **
後肢後望	0.84	-0.209 **	-0.032 **	0.69	-0.075 **	-0.008 **
蹄の角度	0.45	-0.141 **	-0.050 **	0.23	-0.038 **	-0.015 **
歩様	3.08	0.412 **	0.012 **	2.34	0.142 **	0.008 **
前乳房の付着	7.26	0.745 **	0.060 **	3.73	0.201 **	0.008 **
後乳房の高さ	2.79	0.502 **	0.092 **	0.62	0.103 **	0.030 **
後乳房の幅	1.58	-0.134 **	0.113 **	2.09	-0.094 **	0.033 **
乳房の懸垂	0.26	-0.087 **	0.058 **	0.53	-0.060 **	0.021 **
乳房の深さ	9.86	0.893 **	0.084 **	4.61	0.234 **	0.019 **
前乳頭の配置	0.36	0.124 **	-0.023 **	0.05	0.014 **	-0.008 **
前乳頭の長さ	0.71	-0.217 **	0.054 **	0.35	-0.059 **	0.016 **
後乳頭の配置	0.28	-0.125 **	-0.014 **	0.66	-0.076 **	-0.007 **
乳房の傾斜	0.14	-0.059 **	-0.047 **	0.11	0.004 *	-0.018 **
ボディコンディション	1.70	0.319 **	0.009 **	4.91	0.227 **	-0.014 **

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, NS $\cong 0.05$

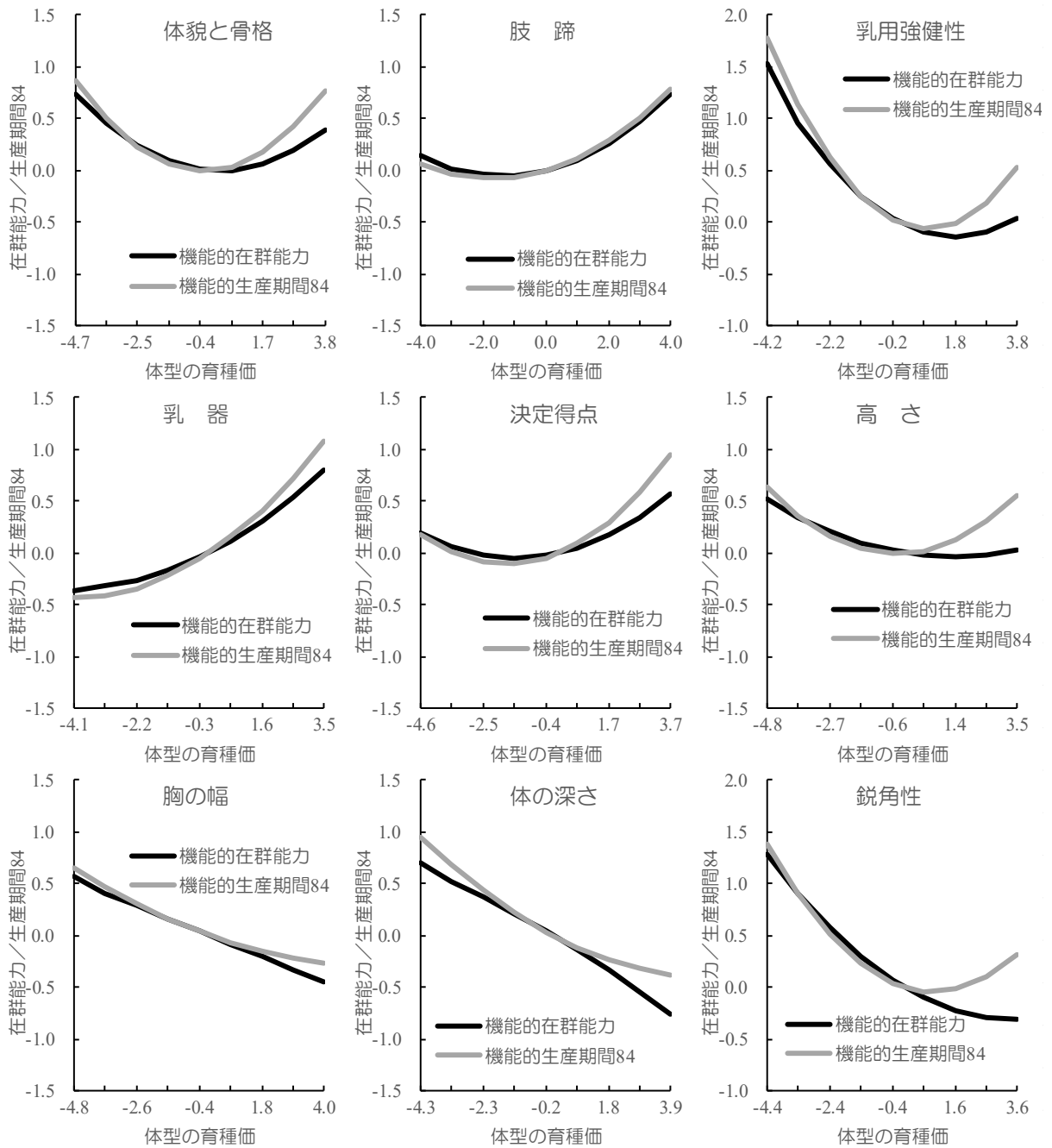


図14-1. 体貌と骨格、肢蹄、乳用強健性、乳器、決定得点、高さ、胸の幅、体の深さおよび鋭角性の各育種価に対する機能的生産期間84または機能的在群能力の育種価の有意な回帰直線または曲線

肢蹄に関係する形質において、機能的生産期間 84 の EBV を説明する割合として決定係数は歩様の 3.08%が最も高く、次に肢蹄(得率)の 1.00%、後肢後望の 0.83%、蹄の角度の 0.45%および後肢側望の 0.13%であった。また、機能的在群能力の説明割合は歩様の 2.34%、肢蹄(得率)の 0.87%、後肢後望の 0.69%、蹄の角度の 0.23%および後肢側望の 0.12%であった。

歩様の EBV に対する機能的生産期間 84 の EBV は上昇、後肢後望の EBV に対する機能的生産期間 84 の EBV は低下を示した(図 14-2)。特に、審査標準において望ましいとされる後肢後望の形状は、生産寿命を低下させる傾向が認められた。肢蹄(得率)は EBV が負からゼロ付近まで長命性に大きな変化は見ら

れないが、ゼロ以上では機能的生産期間84 および機能的在群能力のEBVが上昇する傾向が認められた。それゆえ、肢蹄(得率)は長命性の改良に利用できると推察された。後肢側望はEBVがゼロ付近において最も機能的生産期間84 と機能的在群能力のEBVが低い傾向が認められたが、その変化は非常に小さかった。

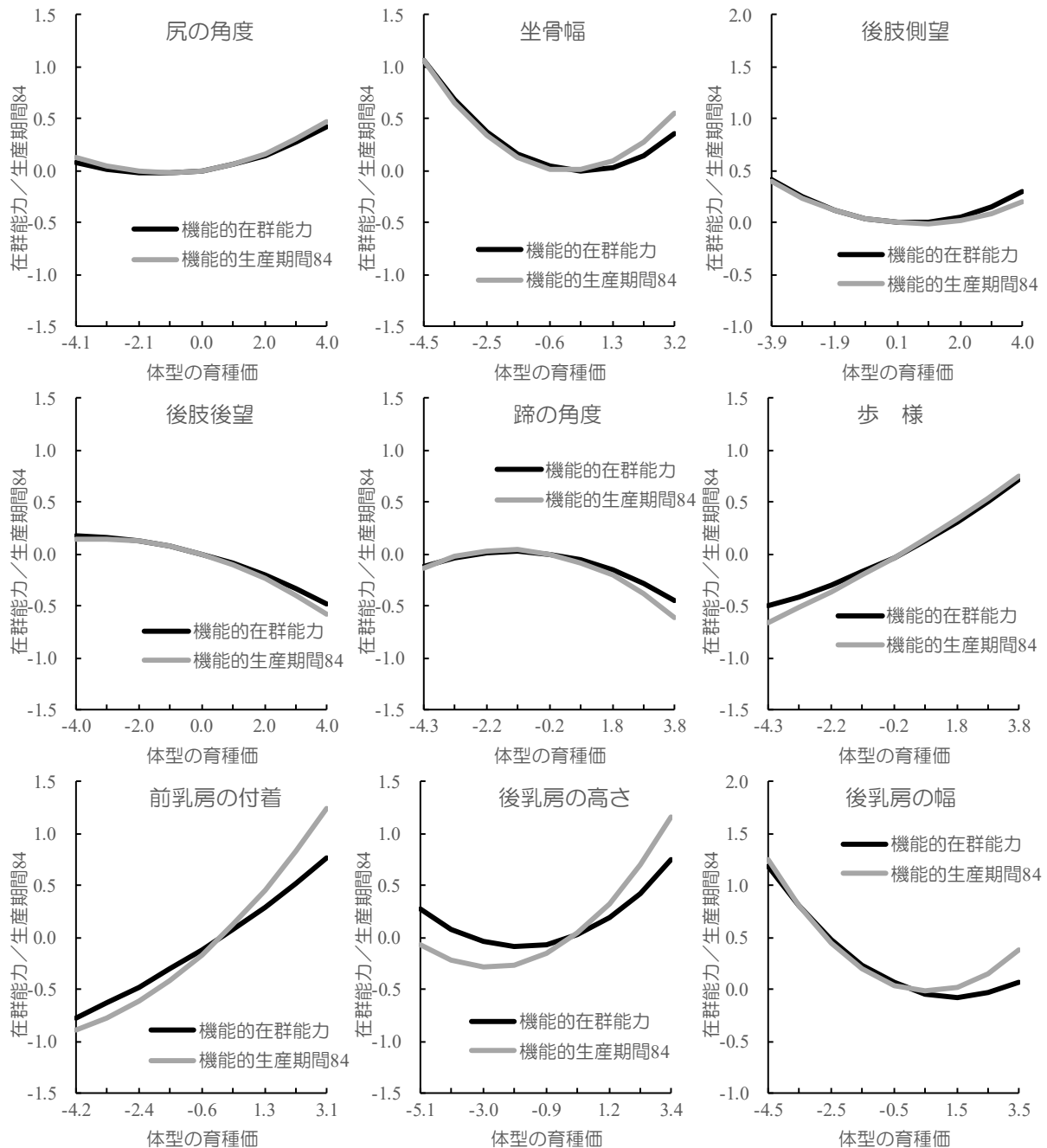


図14.2. 尻の角度、坐骨幅、後肢側望、後肢後望、蹄の角度、歩様、前乳房の付着、後乳房の高さおよび後乳房の幅の各育種価に対する機能的生産期間84または機能的在群能力の育種価の有意な回帰直線または曲線

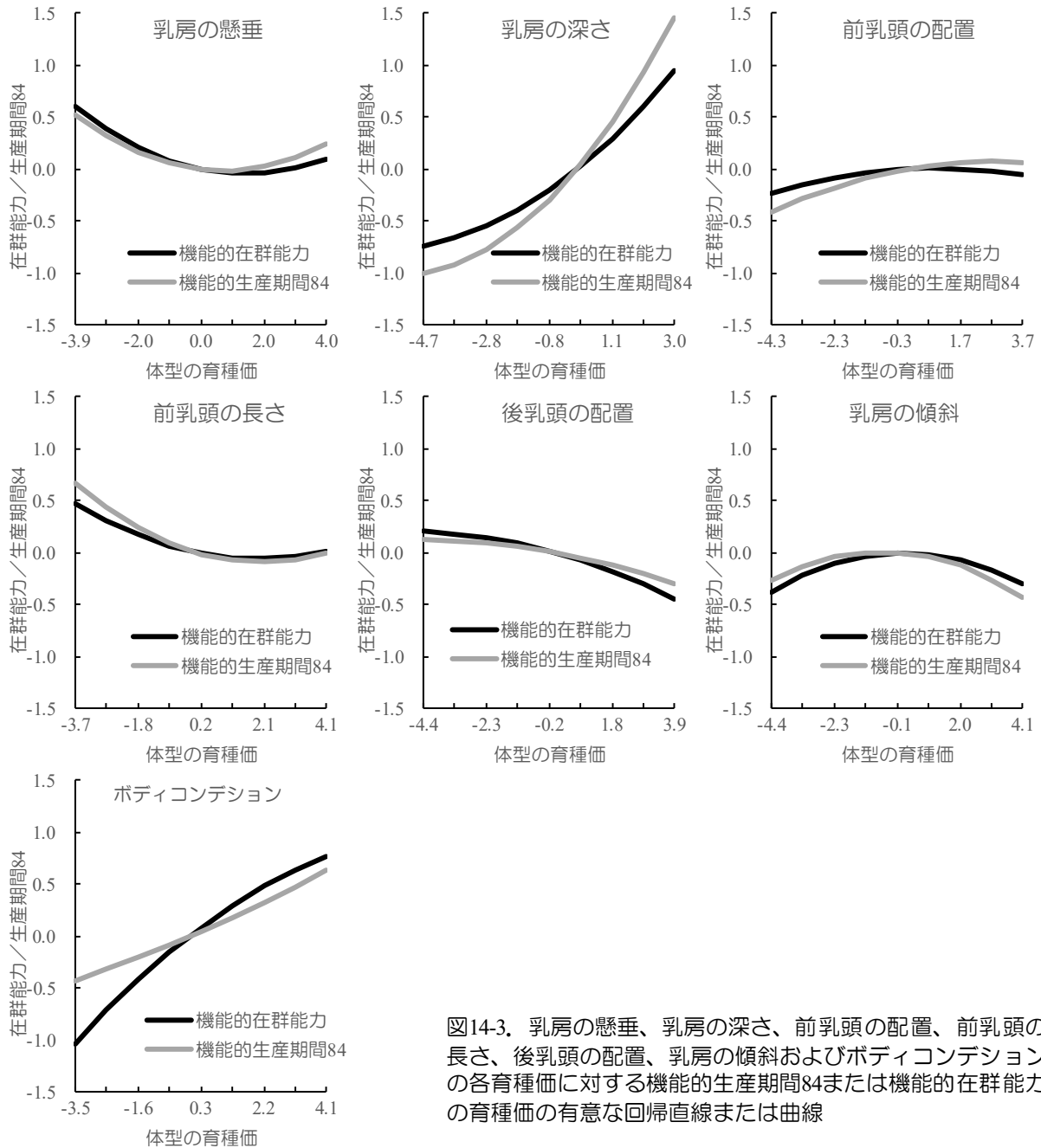


図14-3. 乳房の懸垂、乳房の深さ、前乳頭の配置、前乳頭の長さ、後乳頭の配置、乳房の傾斜およびボディコンディションの各育種価に対する機能的生産期間84または機能的在群能力の育種価の有意な回帰直線または曲線

乳用強健性、鋭角性およびボディコンディション(BCS)のEBV に対する機能的在群能力のEBV の関係は、決定係数の大きさから機能的生産期間 84 と比較し関連性が強く、それぞれ 3.63%、3.97%および 4.91%であった。乳用強健性と鋭角性のEBV に対する機能的生産期間 84 および機能的在群能力のEBV の変化は短縮する方向を示した。一方、BCS のEBV に対する機能的生産期間 84 および機能的在群能力のEBV は延長の方向を示した。このことは、乳用性に対する積極的な選抜は長命性が短縮する方向に反応することを示唆している。一方、BCS のEBV によって肥満気味の個体を選抜することにより、長命性が間接的に延長する傾向が認められた。

機能的在群能力と比較し、機能的生産期間 84 との関連性が高い乳房形質は乳器、前乳房の付着、乳房の深さ、前乳頭の配置、前乳頭の長さおよび乳房の傾斜であり、決定係数はそれぞれ 3.64%、7.26%、

2.79%、9.86%、0.36%、0.71%および0.14%であった。一方、機能的在群能力との関連性が高い乳房の形質は後乳房の幅、乳房の懸垂および後乳頭の配置であり、決定係数はそれぞれ2.09%、0.53%および0.66%であった。

図 14-2 と図 14-3 から、最も決定係数が高い乳房に関連する形質は乳房の深さであり、EBV が高いほど機能的生産期間⁸⁴と機能的在群能力のEBVが高くなる傾向が明瞭に認められた。同様の傾向は前乳房の付着でも認められた。後乳房の高さはEBVが負からゼロの範囲で大きな変化が認められないが、後乳房の高さのEBVがゼロを超える付近から長命性のEBVが上昇する傾向が認められた。乳房の傾斜はEBVがゼロ付近で長命性のEBVが高くなる傾向が見られた。後乳房の幅と乳房の懸垂はEBVの値が負からゼロ付近にかけて長命性のEBVが減少し、その後は変化が緩慢になった。乳房の幅が広く、乳房の懸垂が強い形状は審査標準において望ましい体型とされているが、本分析ではこのような形状が長命性の低下を示す傾向があることを示唆した。前乳頭の長さとは後乳頭の配置EBVに対する機能的生産期間⁸⁴および機能的在群能力のEBVは低下傾向が認められた。審査標準では前乳頭の長さは中等度、後乳頭の配置は中央に配置しているのが理想的であると定義されている。後乳頭の配置の集団平均は内付きの方向に偏っていることから、後乳頭の配置は負の方向(中央に配置の方向)への選抜が望ましいことを示唆している。前乳頭の配置と長命性の遺伝的関係は希薄であった。

4. 結論および考察

産乳能力が高いにもかかわらず淘汰せざるをえない個体を少なくするには体の深さや胸の幅などが大型化しない方向に選抜する必要がある。乳用性の改良は長命性の短縮を誘引する可能性がある。それゆえに、乳用性の改良は泌乳能力の改良に伴う間接反応に留めるべきであり、乳用性に対する積極的な選抜は行うべきではないと推察された。肢蹄に関する形質は、他の部位と比較し長命性との関係が希薄であった。その中でも後肢後望と歩様は長命性との関連性が比較的顕著に認められたが、審査標準において望ましいとされる後肢後望の形状への選抜は必ずしも長命性の延長が期待できる反応が生じないことから、選抜方向については検討が必要であろう。肢蹄を改良するとすれば、肢蹄(得率)と歩様による改良が望ましいと推察された。

乳房の深さ、乳房の付着、後乳房の高さおよび乳器における選抜方向は審査標準の望ましい形状と長命性の延長が期待できることが一致した。一方、後乳房の幅と乳房の懸垂の改良は長命性を短縮化する反応が生じる可能性があることから、これは審査標準において望ましいと定義した形状と反対の傾向であった。後乳頭の配置はすでに内付きになっている個体がほとんどであるから、負の方向に改良することが望ましい。

第15章 ホルスタインの遺伝評価形質における遺伝的パラメータの推定

1. はじめに

1995年以來、わが国におけるホルスタイン集団の選抜には、総合指数(NTP: Nippon Total Profit Index)が使用されてきた。NTPは2020年までの25年間に6回の改正が行われ、2022年には本事業の分析結果に基づき、7回目の改正が行われた。7回目の改正では耐久性成分に在群能力を加え、産乳成分：耐久性成分：疾病繁殖成分の割合を70%：18%：12%から60%：28%：12%に変更した。

一方、本事業では体型や繁殖性の形質のみならず疾病形質を選抜形質として利用することにより、生産寿命の更なる改良を推進するための計画を進めている。具体的には生産寿命の改良に必要な疾病形質の遺伝評価法を開発し、それらをNTPや長命連産効果に組み込むための分析を進めている。NTPと長命連産効果を見直すため、なるべく新しい記録に基づきすべての遺伝評価形質の遺伝的パラメータを推定する必要があることから、本年度も昨年度に引き続き遺伝的パラメータの推定を実施した。

2. 分析方法

(1) 泌乳形質および疾病等の指標形質データの抽出と分析用モデルの仮定

分析には2004年1月1日から2019年12月31日までに初産分娩した1,224,810頭の雌牛における初産次の305日泌乳記録を使用した。分娩月齢は18カ月齢から35カ月齢の範囲とした。305日記録は240日以上305日までに乳期が完了した実測値を利用し、240日以下で乳期中の記録については分析データから除いた。

分析に利用したモデルは以下の通り仮定した。

$$y_{ijkl} = HYT_i + YM_j + Age_k + u_l + e_{ijkl}$$

ここで、 y_{ijkl} は乳量、乳脂量、無脂固形分量、乳タンパク質量、乳脂率、無脂固形分率、乳タンパク質率、体細胞スコア、無脂固形分率、乳中尿素窒素(MUN)および泌乳持続性のいずれかの記録である。 HYT_i は分娩時における*i*番目の牛群・分娩年・搾乳回数のサブクラスを示す母数効果である。ここで、搾乳回数は2回、3回および不定回数(自動搾乳)の3区分に分類した。 YM_j は*j*番目の分娩年月に関する母数効果、 Age_k は*k*番目に分類した分娩月齢クラスの母数効果である。ここで、分娩月齢は18カ月齢から20カ月齢と21カ月齢から22カ月齢をそれぞれ1クラスとして2クラスを設け、23カ月齢から35カ月齢を月ごとに13クラスとし、合計で15クラスに区分した。 u_l は*l*番目個体の相対的遺伝子を示す変量効果、 e_{ijkl} は残差を示す変量効果である。

(2) 体型形質データの抽出と分析用モデルの仮定

分析には2004年1月1日から2020年3月31日までに体型審査を受検した雌牛536,918頭を使用した。体型記録は初産分娩後365日以内で正常に泌乳している状況において審査された記録である。分娩月齢は18カ月齢から35カ月齢の範囲とした。分析に使用した体型形質は合計で25形質であるが、ボディコンディションは2007年からデータ収集している所以他の形質よりも記録数が少なく430,826記録であった。歩様は2005年からデータ収集を開始したが、放し飼い集団においてのみ審査を実施したことからボディコンディションより記録数が少なく、本分析では143,711記録を使用した。

分析に利用したモデルは以下の通り仮定した。

$$y_{ijklm} = HCD_i + CY_j + Age_k + Sol_l + u_m + e_{ijklm}$$

ここで、 y_{ijklm} は25の体型形質のいずれかである。 HCD_i は体型審査時における*i*番目の牛群・審査委員・審査年月日のサブクラスを示す母数効果である。審査委員は牛群・審査年月日のサブクラスにおいて1名が担当することから、審査委員の影響を考慮するため CY_j の効果モデルに加えた。 CY_j は*j*番目の審査委員・審査年度のサブクラスに関する母数効果である。審査年度とは4月1日から翌年の3月31日までの1年間とした。 Age_k は*k*番目に分類した審査月齢クラスの母数効果である。ここで、審査月齢は18ヵ月齢から47ヵ月齢の範囲とし、その中で18ヵ月齢から25ヵ月齢、38ヵ月齢から39ヵ月齢および40ヵ月齢以上の3クラスおよび26から37ヵ月齢をそれぞれ月ごとに12クラスとし、合計で15クラスに区分した。 Sol_l は*l*番目の泌乳ステージを示す母数効果である。泌乳ステージは1日から330日までを30日ごとに11区分し、331日から365日までを1クラスとして12クラスに分類した。 u_m は*m*番目個体の相対的遺伝子を示す変量効果、 e_{ijklm} は残差を示す変量効果である。

(3) 長命性形質データの抽出と分析用モデルの仮定

分析に利用した形質は、生産期間84、在群期間84および在群能力の3形質である。生産期間84は分娩年月日と乾乳年月日を使用し、84ヵ月齢までに分娩したすべての産次における泌乳期間(月数)を合計した形質である。84ヵ月齢を超えた個体の生産期間84は、84ヵ月齢までの泌乳期間を合計した。在群期間84は生年月日と除籍年月日を利用して在群した月数とした。なお、84ヵ月齢を超えて在群した個体の在群期間84は84ヵ月とした。これら2形質は2020年11月の時点で84ヵ月齢以上を超えていないから、2004年1月1日から2015年12月31日までに初産分娩した雌牛982,000頭を抽出し、これの雌牛について生産期間84と在群期間84のデータを作成した。なお、初産分娩月齢は18ヵ月齢から35ヵ月齢の範囲とした。

在群能力については初産から3産をそれぞれ分娩後50日未満、50日から249日および250日から次産分娩までの3区間に分割し、次にそれぞれの区間に0から8の連続する線形スコアを割り当てた。在群能力の記録としては雌牛が除籍された時点が含まれる区間のスコアを与えた。なお、3産次の250日から4産分娩の区間まで生存し、その区間で除籍された場合はスコア8としたが、さらにこの区間に在籍されなかった雌牛記録にはスコア9を与えた。在群能力の記録は、2004年1月1日から2014年12月31日の間に初産分娩したホルスタインの牛群検定記録を編集しているため、スコア8以下で在籍している雌牛はデータに含まれていない。なお、抽出されたデータは初産分娩において18ヵ月齢から35ヵ月齢、2産分娩において30ヵ月齢から55ヵ月齢および3産分娩において42ヵ月齢から75ヵ月齢の各範囲に含まれる個体記録のみになるように編集した。その結果、在群能力の記録は890,810頭の雌牛から得られた。

分析に利用したモデルは以下の通り仮定した。

$$y_{ijkl} = HY_i + YM_j + Age_k + u_l + e_{ijkl}$$

ここで、 y_{ijkl} は生産期間84、在群期間84および在群能力のいずれかである。 HY_i は初産分娩時における*i*番目の牛群・分娩年サブクラスを示す母数効果である。 YM_j は*j*番目の初産分娩年月のサブクラスに関する母数効果である。 Age_k は*k*番目に分類した初産分娩月齢クラスの母数効果である。ここで、初産分娩月齢は18ヵ月齢から35ヵ月齢の範囲とし、その中で18ヵ月齢から20ヵ月齢と21ヵ月齢から22ヵ月齢をそれぞれのクラスとして2クラス、23ヵ月齢から35ヵ月齢を月ごとに13クラスとし、合計で15

クラスに区分した。 u_l は l 番目個体の相加的遺伝子を示す変量効果、 e_{ijkl} は残差を示す変量効果である。

(4) 管理形質データの抽出と分析用モデルの仮定

管理形質としては、搾乳性と搾乳時の気質を分析対象にした。これらの2形質は後代検定体型調査時に初産牛を対象に生産者からの聞き取りにより得られた記録である。記録は2004年1月1日から2020年3月31日までに体型調査が行われた雌牛の記録である。気質・搾乳性の記録は最初3区分のスコアで評価していたが、2012年9月以降5区分のスコアに変更したことから、2012年9月以降に収集したデータは5区分から3区分にスコアを変換して利用した。本分析では初産分娩月齢で18ヵ月齢から35ヵ月齢の範囲に制限し、185,360記録を分析に使用した。

分析に利用したモデルは以下の通り仮定した。

$$y_{ijkl} = HYM_i + Age_j + Sol_k + u_l + e_{ijkl}$$

ここで、 y_{ijklm} は搾乳性または気質のいずれかの形質である。 HYM_i は初産分娩後の i 番目の牛群・審査年月のサブクラスを示す母数効果である。 Age_j は j 番目の審査月齢クラスに関する母数効果である。 Sol_k は k 番目に分類した審査日の泌乳ステージを示す母数効果である。審査月齢と泌乳ステージの各区分は体型形質と同様にそれぞれ15クラスおよび12クラスに分類した。 u_l は l 番目個体の相加的遺伝子を示す変量効果、 e_{ijkl} は残差を示す変量効果である。

(5) 繁殖性形質データの抽出と分析用モデルの仮定

繁殖データは2004年1月1日から2018年12月31日の間に初産分娩した後の授精記録に基づき編集した初回授精受胎率と空胎日数である。それらは分娩月齢が18ヵ月齢から35ヵ月齢、かつ初回授精月齢が20ヵ月齢から46ヵ月齢の範囲にあり、さらに分娩後20日以降に初回授精した記録を持つ雌牛の記録である。初回授精受胎率は受胎の成否を1または0で示す二値データであるが分析では線形形質として扱った。空胎日数は初産分娩と最終授精日との差として計算したが、繁殖能力が低いまたは繁殖障害などで空胎日数が365日を超える場合は強制的に365日とした。

遺伝的パラメータは、以下の統計モデルを使用して推定した。

$$y_{ijkl} = HY_i + YM_j + Age_k + u_l + e_{ijkl}$$

ここで、 y_{ijkl} は初回授精受胎率と空胎日数に関する表型値である。 HY_i は初産分娩時の牛群・分娩年のサブクラスに関する母数効果である。 YM_j は分娩年月に関する母数効果である。 Age_k は分娩月齢グループに関する母数効果であり、18ヵ月齢から20ヵ月齢、21ヵ月齢から22ヵ月齢をそれぞれグループとし、23ヵ月齢から35ヵ月齢までの各月齢を13区分にし、合計15グループに分類した。 u_l は個体の相加的遺伝子効果を示す変量効果、 e_{ijkl} は残差に関する変量効果を示している。

(6) 遺伝的パラメータの推定

遺伝的パラメータは在群能力と他の形質を組み合わせ、2形質ごとに多形質アニマルモデルにより推定した。各効果の期待値と分散は以下のとおりである。

$$E \begin{bmatrix} \mathbf{y} \\ \mathbf{u} \\ \mathbf{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}, \text{Var} \begin{bmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{G} \otimes \mathbf{A} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R} \otimes \mathbf{I}_e \end{bmatrix}$$

表15-1. 遺伝的パラメータを推定した形質の略名称、雌牛数、平均および標準偏差(SD)

略称	形質	雌牛数	平均	SD
泌乳形質				
MY	乳量	1,224,810	8403.3	1388.1
FY	乳脂量	1,224,810	329.5	54.7
SY	無脂固形分量	1,224,810	745.3	123.9
PY	乳タンパク質量	1,224,810	275.5	45.4
F%	乳脂率	1,224,810	394.3	37.7
S%	無脂固形分率	1,224,810	886.8	24.1
P%	乳タンパク質率	1,224,810	328.9	18.3
体型形質				
FS	決定得点	536,918	79.44	1.97
BF	体貌と骨格	536,918	79.71	2.33
ST	高さ	536,918	6.71	1.39
CW	胸の幅	536,918	5.36	1.07
BD	体の深さ	536,918	5.56	1.07
PW	坐骨幅	536,918	5.17	1.09
RA	尻の角度	536,918	4.65	1.26
DS	乳用強健性	536,918	80.38	2.03
ANG	鋭角性	536,918	5.38	1.01
BCS	ボディコンディション	430,826	5.00	1.05
FL	肢蹄	536,918	78.64	2.69
RLS	後肢側望	536,918	5.26	1.07
RLR	後肢後望	536,918	5.19	1.42
FAN	蹄の角度	536,918	4.78	1.08
LO	歩様	143,711	4.89	1.46
MS	乳房	536,918	79.09	2.96
FA	乳房の付着	536,918	5.81	1.19
RAH	後乳房の高さ	536,918	6.56	1.16
RAW	後乳房の幅	536,918	5.55	1.16
US	乳房の懸垂	536,918	5.98	1.09
UD	乳房の深さ	536,918	6.96	1.20
FTP	前乳頭の配置	536,918	5.03	1.08
TL	前乳頭の長さ	536,918	4.61	1.11
RTP	後乳頭の配置	536,918	6.09	1.12
UB	乳房の傾斜	536,918	5.31	0.92
長命性形質				
HL	在群期間84	982,000	64.09	17.66
PL	生産期間84	982,000	32.06	14.59
DL	在群能力	890,810	7.64	2.75
管理形質				
MT	搾乳時の気質	185,360	2.81	0.69
MSP	搾乳性	185,360	2.93	0.53
繁殖性形質				
DO	空胎日数	1,188,833	145.15	82.52
FSCC	初回授精受胎率(初産牛)	1,188,833	1.39	0.49
疾病等の指標形質				
SCS	体細胞スコア	1,224,810	22.40	10.69
MUN	乳中窒素体	1,224,810	118.77	22.70
PE	泌乳持続性	1,224,810	94.88	2.69

表15-2. 遺伝的パラメータを推定する時に統計モデルにおいて考慮した母数効果と個体数

形質	牛群効果	分娩/ 審査効果	ステージ 効果	月齢効果	血縁含む 個体数	牛群数	種雄 牛数
泌乳形質	初産分娩年次- 牛群-搾乳回数 65,977	初産分 娩年月 192		初産分娩月齢 18~35ヵ月齢15区分	1,839,974	5,890	8,769
体型形質	審査員-牛群 -審査年月日	審査員- 審査年度	泌乳 ステージ	初産時審査月齢			
23形質	64,820	230	12	18~47ヵ月齢15区分	1,219,188	8,577	9,340
BCS	52,674	188	12	18~47ヵ月齢15区分	1,023,248	7,741	8,615
LO	20,404	224	12	18~47ヵ月齢15区分	417,795	2,683	7,632
長命性形質	初産分娩年次 -牛群	初産分 娩年月		初産分娩月齢			
HL・PL	59,042	144		18~35ヵ月齢15区分	1,574,840	5,182	7,415
DL	48,213	132		18~35ヵ月齢15区分	1,471,237	4,817	7,215
管理形質	審査員-牛群- 審査年月日		泌乳 ステージ	初産時審査月齢			
MT・MSP	23,657		12	18~47ヵ月齢15区分	548,215	5,778	6,849
繁殖性形質	初産分娩年次 -牛群	初産分 娩年月		初産分娩月齢			
DO・FSTC	65,084	192		18~35ヵ月齢15区分	1,801,049	5,822	8,688
疾病等の 指標形質	初産分娩年次- 牛群-搾乳回数	初産分 娩年月		初産分娩月齢			
SCS・MUN ・PE	65,977	192		18~35ヵ月齢15区分	1,839,974	5,890	8,769

BCS: ボディコンディション、LO: 歩様、HL: 在群期間84、PL: 生産期間84、DL: 在群能力、MT: 気質、MSP: 乳性、DO: 空胎日数、FSTC: 初回授精受胎率、SCS: 体細胞スコア、MUN: 乳中窒素体、PE: 泌乳持続性

ここで、 y は 2 形質の各観測記録を示すベクトル、 u は相対的遺伝子効果(個体の育種価)を示す変量ベクトル、 e は残差効果を示す変量ベクトルである。 β は母数効果を含むベクトル、 X は計画行列である。 G は 2×2 の遺伝分散共分散、 A は分子血縁行列、 R は 2×2 の残差分散共分散および I_e は単位行列である。

表 15-1 には分析に使用した形質の記録数、平均値および標準偏差を示した。泌乳形質と体型形質は残差が一様になるようにあらかじめ牛群分散を補正した (Weigel ら, 1993)。表 15-2 には本分析で仮定した統計モデルの効果と水準数を示した。牛群年次に関する母数効果は最低でも 5 頭以上の同期牛を有するように編集されている。すべての個体は両親が明らかであり、血縁記録は 3 世代まで遡りモデルに取り込まれた。在群能力は他の形質よりも記録数が少ないことから、モデルに取り込まれた在群能力の記録には欠測値が存在する。また、血縁のみの個体数(表 15-2)は、組み合わせた形質において個体数が多い方の形質の個体数によって決定する。

分析プログラムは THRGIBBS1F90 (Misztal ら, 2002) を使用し、遺伝分散共分散と残差分散共分散はギブスサンプリング法により推定した。ギブスサンプリング法では合計で200,000サンプルを発生させ、最初の50,000回を Burn-in した後の150,000サンプルの平均値をパラメータの推定値とした。

3. 結果と考察

(1) 泌乳形質の遺伝率と遺伝相関

表15-3には泌乳形質に関する遺伝率(対角)、遺伝相関(下三角)および表型相関(上三角)を示した。乳量と乳成分量の遺伝率は0.330(乳タンパク質量)から0.415(乳量)の範囲、乳成分率の遺伝率は0.770(無脂固形分率)から0.793(乳タンパク質率)の範囲で非常に高く推定された。乳量と乳成分量に関する遺伝相関は0.462(乳量と乳脂量)から0.963(乳量と無脂固形分量)の範囲、表型相関は0.847(乳量と乳脂量)から0.988(乳量と無脂固形分量)の範囲にあった。このように乳量と乳成分量に関する表型相関は、遺伝相関よりも高い傾向が認められた。乳成分率に関する遺伝相関は0.588(乳脂率と無脂固形分率)、0.701(乳脂率と乳タンパク質率)および0.863(無脂固形分量と乳タンパク質率)、表型相関は0.380(乳脂率と無脂固形分率)、0.478(乳脂率と乳タンパク質率)および0.859(無脂固形分率と乳タンパク質率)であり、表型相関と比較し遺伝相関が高い傾向を示した。

乳量・乳成分量と乳成分率の間において、乳タンパク質量と乳タンパク質率、乳タンパク質量と無脂固形分率および乳脂量と無脂固形分率の各遺伝相関は無相関であった。乳脂量は乳タンパク質率および乳脂率との間にそれぞれ0.112および0.450の正の遺伝相関が推定された。乳量、無脂固形分量および乳タンパク質量と乳成分率の間には-0.597(乳量と乳タンパク質率)から-0.194(乳タンパク質量と乳脂率)の範囲で負の遺伝相関が推定された。表型相関において、乳量は乳タンパク質率との間に-0.193および乳脂率との間に-0.254の負の関係が認められた。一方、乳脂量は無脂固形分率との間に0.143および乳脂率との間に0.289の正の表型相関が推定された。無脂固形分量は乳脂率との間に-0.197の表型相関、乳タンパク質量は乳脂率との間に負の表型相関(-0.105)が認められたが、無脂固形分率および乳タンパク質率との表型相関はそれぞれ0.214と0.124の正の値が推定された。

表15-3. 泌乳形質に関する遺伝率(対角)、遺伝相関(下三角)および表型相関(上三角)

形質	MY	FY	SY	PY	F%	S%	P%
MY	.415	.847	.988	.948	-.254	-.061	-.193
FY	.462	.378	.867	.878	.289	.143	.064
SY	.963	.537	.359	.979	-.197	.091	-.063
PY	.797	.658	.896	.330	-.105	.214	.124
F%	-.574	.450	-.469	-.194	.779	.380	.478
S%	-.551	.046	-.308	-.040	.588	.770	.859
P%	-.597	.112	-.408	.000	.701	.863	.793

MY: 乳量、FY: 乳脂量、SY: 無脂固形分量、PY: 乳タンパク質量、F%: 乳脂率、S%: 無脂固形分率、P%: 乳タンパク質率

上三角:表型相関、下三角:遺伝相関、対角:遺伝率

表15-4. 体貌と骨格ならびに乳用性に関する遺伝率(対角)、遺伝相関(下三角)および表型相関(上三角)

形質	FS	BF	ST	CW	BD	PW	RA	DS	ANG	BCS
FS	.206	.669	.466	.416	.430	.292	.118	.655	.470	.024
BF	.757	.275	.588	.567	.566	.427	.328	.628	.438	.094
ST	.711	.768	.461	.587	.611	.463	.168	.517	.371	.090
CW	.591	.730	.790	.240	.729	.461	.061	.513	.372	.245
BD	.520	.693	.702	.903	.311	.443	.054	.598	.466	.144
PW	.436	.528	.505	.531	.493	.370	.061	.358	.270	.072
RA	.194	.478	.235	.052	.014	.081	.389	.064	.043	.024
DS	.679	.743	.716	.681	.796	.471	.079	.265	.784	-.122
ANG	.570	.624	.593	.519	.673	.391	.067	.974	.163	-.235
BCS	-.013	.042	-.013	.246	.019	-.030	.049	-.473	-.660	.228

FS: 決定得点、BF: 体貌と骨格、ST: 高さ、CW: 胸の幅、BD: 体の深さ、PW: 坐骨幅、RA: 尻の角度、DS: 乳用強健性、ANG: 鋭角性、BCS: ボディコンディション

上三角:表型相関、下三角:遺伝相関、対角:遺伝率

(2) 体の大きさならびに乳用性に関する体型形質の遺伝率と遺伝相関

表 15-4 には体貌と骨格ならびに乳用性に関する遺伝率(対角)、遺伝相関(下三角)および表型相関(上三角)を示した。体の大きさに関連する形質は体貌と骨格、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅である。乳用性に関連する形質は乳用強健性、鋭角性およびボディコンディションである。それ以外に表 15-4 には決定得点と尻の角度のパラメータを表示した。体の大きさに関連する形質の遺伝率は胸の幅の 0.240 から高さの 0.461 の範囲にあった。乳用性に関する形質の遺伝率は鋭角性において 0.163、ボディコンディションにおいて 0.228 および乳用強健性において 0.265 であった。また、決定得点の遺伝率は 0.206、尻の角度の遺伝率は 0.389 であった。

体の大きさに関する形質間の遺伝相関は、0.493(体の深さと坐骨幅)から 0.903(胸の幅と体の深さ)の範囲で中程度から高い値が推定された。表型相関は遺伝相関よりも若干低く推定されたが、0.427(体貌と骨格と坐骨幅)から 0.729(胸の幅と体の深さ)の範囲にあった。乳用性に関して、乳用強健性と鋭角性の間には 0.974 の非常に高い遺伝相関が推定された。一方、ボディコンディションは乳用強健性との間に-0.472 および鋭角性との間に-0.660 の負の遺伝相関が推定された。乳用性に関する表型相関は遺伝相関よりも低かったが、類似した傾向が認められた。

体の大きさに関連する形質は尻の角度との間に 0.014(体の深さ)から 0.478(体貌と骨格)の範囲で正の遺伝相関が存在することから、大型化への選抜は斜尻の方向に間接反応が生じる可能性がある。また、体の大きさに関連する形質は乳用強健性との間に 0.471(坐骨幅)から 0.796(体の深さ)の範囲、鋭角性との間に 0.391(坐骨幅)から 0.673(体の深さ)の範囲で正の遺伝相関が存在することから、大型化への選抜は乳用性が上昇する方向に間接反応が生じる可能性がある。また、ボディコンディションと胸の幅には 0.246 の低い正の遺伝相関が存在することが判明した。

表15-5. 肢蹄に関する遺伝率(対角)、遺伝相関(下三角)および表型相関(上三角)

形質	FL	RLS	RLR	FAN	LO
FL	.086	-.267	.396	.311	.562
RLS	-.437	.195	-.205	-.019	-.232
RLR	.519	-.109	.114	.070	.362
FAN	.383	-.233	.117	.053	.127
LO	.781	-.438	.613	.278	.052

FL: 肢蹄、RLS: 後肢側望、RLR: 後肢後望、FAN: 蹄の角度、LO: 歩様

上三角:表型相関、下三角:遺伝相関、対角:遺伝率

(3) 肢蹄に関係する体型形質の遺伝率と遺伝相関

表 15-5 には肢蹄に関係する遺伝率(対角)、遺伝相関(下三角)および表型相関(上三角)を示した。肢蹄形質の遺伝率は他の体型形質と比較し低く推定された。肢蹄に関係する形質の遺伝率は比較的低く、歩様、蹄の角度および肢蹄の遺伝率はそれぞれ 0.052、0.053 および 0.086 であった。後肢後望と後肢側望の遺伝率はそれぞれ 0.114 と 0.195 であり肢蹄形質の中では比較的高く推定された。

肢蹄は後肢側望、後肢後望および蹄の角度との間にそれぞれ-0.437、0.513 および 0.383 の中程度の遺伝相関が推定された。同様に歩様は後肢側望、後肢後望および蹄の角度との間にそれぞれ-0.438、0.613 および 0.278 の遺伝相関が推定され、肢蹄の傾向と非常に類似した。しかし、肢蹄と歩様間の遺伝相関は 0.781 および表型相関は 0.562 であり、高い相関を示したものの 1 に近似していないことから両形質は異なる部位を評価していると考えられた。

表15-6. 乳房に関する遺伝率(対角)、遺伝相関(下三角)および表型相関(上三角)

形質	MS	FA	RAH	RAW	US	UD	FTP	TL	RTP	UB
MS	.186	.622	.543	.364	.231	.420	.090	.038	.028	.207
FA	.854	.230	.405	.187	.051	.401	.028	.049	-.002	.137
RAH	.736	.483	.240	.237	.125	.388	.019	.020	-.021	.206
RAW	.259	-.050	.283	.152	.121	-.155	.018	.098	-.021	.045
US	.078	-.172	.104	.225	.192	.074	.095	.077	.248	.102
UD	.751	.738	.563	-.270	-.064	.408	.083	-.009	.023	.204
FTP	.281	.181	.127	.184	.061	.132	.389	-.056	.433	.133
TL	-.058	-.028	-.008	.070	.136	-.038	-.138	.377	-.070	.063
RTP	.146	.036	.079	.205	.474	.000	.598	-.158	.327	.026
UB	.351	.279	.355	.074	.077	.345	.123	.114	.010	.230

MS: 乳房、FA: 前乳房の付着、RAH: 後乳房の高さ、RAW: 後乳房の幅、US: 乳房の懸垂、UD: 乳房の深さ、FTP: 前乳頭の配置、TL: 前乳頭の長さ、RTP: 後乳頭の配置、UB: 乳房の傾斜

上三角:表型相関、下三角:遺伝相関、対角:遺伝率

(4) 乳房に関する体型形質の遺伝率と遺伝相関

表 15-6 には乳房に関する遺伝率(対角)、遺伝相関(下三角)および表型相関(上三角)を示した。遺伝率は乳器、後乳房の幅および乳房の懸垂において比較的低かったが(0.186、0.152 および 0.192)、それ以外の乳房の形質では 0.230(前乳房の付着と乳房の傾斜)から 0.408(乳房の深さ)の範囲で推定された。

乳器は前乳房の付着、後乳房の高さおよび乳房の深さとの間にそれぞれ 0.854、0.736 および 0.751 の高い遺伝相関が推定された。前乳房の付着、後乳房の高さおよび乳房の深さにおける各間の遺伝相関も比較的高く、0.483(前乳頭の付着と後乳房の高さ)から 0.738(前乳房の付着と乳房の深さ)の範囲で中程度から高い遺伝相関が推定された。それゆえ、乳器の改良は前乳房の付着、後乳房の高さおよび乳房の深さの改良が大きなウエイトを占めるものと推察された。

後乳頭の配置は乳房の懸垂と 0.474、前乳頭の配置と 0.598 の正の遺伝相関が推定された。一方、乳房の懸垂と前乳頭の配置の遺伝相関は 0.061 でほぼ無相関に近似していることから、乳房の懸垂に対する選抜は後乳頭を内側に配置するように間接反応が生じる可能性があるが、一方で前乳頭の配置はあまり影響がないものと考えられた。また、後乳房の幅は後乳房の高さ、乳房の懸垂および後乳頭の配置との間にそれぞれ 0.283、0.225 および 0.205 の低い正の遺伝相関、乳房の深さとの間に -0.270 の負の遺伝相関が推定された。乳房の傾斜は乳器、前乳房の付着、後乳房の高さ、乳房の深さとの間に 0.279 から 0.355 の範囲で低い正の遺伝相関が推定された。なお、表型相関はほとんどの形質間で遺伝相関よりも低く推定された。

(5) 長命性形質、管理形質、繁殖性形質および疾病等の指標に関する形質の遺伝率と遺伝相関

表 15-7 には長命性形質、管理形質、繁殖性形質および疾病等の指標に関する遺伝率(対角)、遺伝相関(下三角)および表型相関(上三角)を示した。在群期間 84、生産期間 84 および在群能力の遺伝率はそれぞれ 0.121、0.123 および 0.100 であり、遺伝率に大きな差異は認められなかった。気質と搾乳性の遺伝率は低く、それぞれ 0.043 と 0.090 であった。繁殖性において、空胎日数の遺伝率は 0.084 および初産の初回授精受胎率の遺伝率は 0.024 であった。疾病等の指標に関する形質として、体細胞スコア、乳中窒素体および泌乳持続性の遺伝率はそれぞれ 0.187、0.502 および 0.164 であった。

長命性に関する形質間の遺伝相関は非常に高く、0.970(生産期間 84 と在群能力)から 0.996(在群期間 84 と生産期間 84)の範囲にあった。長命性の形質と遺伝相関が高い形質は初回授精受胎率(0.469 から 0.676)と体細胞スコア(-0.456 から -0.433)であった。空胎日数と生産期間 84 との遺伝相関は無相関の関係にあったが、在群期間 84 との間に -0.477、在群能力との間に -0.706 の遺伝相関が推定された。

搾乳時の気質と搾乳性との間には 0.248 の低い正の遺伝相関が存在した。また、気質と搾乳性は体細胞スコアとそれぞれ -0.167 と -0.391 の低い負の遺伝相関が存在した。それゆえ、気質と搾乳性に対する選抜は体細胞スコアを低下方向に間接反応する可能性が認められた。

繁殖性に関する 2 形質の遺伝相関は非常に高く -0.894 であった。繁殖性と長命性の遺伝相関は上述したところであるが、その他に空胎日数と初回授精受胎率に遺伝的関係が認められた形質としては気質との間にそれぞれ -0.121 と 0.105 の低い遺伝相関、さらに体細胞スコアとの間にそれぞれ 0.184 と -0.222 が推定された。体細胞スコアと泌乳持続性との間には -0.295 の低い遺伝相関が推定された。乳中窒素体は長命性形質、管理形質および繁殖性形質との間に顕著な遺伝相関が認められなかった。

表15-7. 長命性形質、管理形質、繁殖性形質および疾病等の指標に関する遺伝率(対角)、遺伝相関(下三角)および表型相関(上三角)

形質	HL	PL	DL	MT	MSP	DO	FSCC	SCS	MUN	PE
HL	.121	.970	.910	-.021	-.029	-.044	.060	-.090	.028	-.031
PL	.996	.123	.923	-.014	-.029	-.081	.060	-.110	.019	-.006
DL	.975	.970	.100	-.007	-.029	-.245	.152	-.114	.013	-.035
MT	.056	.055	.113	.043	.156	-.008	.002	-.005	-.025	.029
MSP	-.080	-.065	-.055	.248	.090	-.008	.003	-.043	-.007	.024
DO	-.477	-.046	-.706	-.121	-.025	.084	-.545	.122	.017	.066
FSCC	.489	.469	.676	.105	-.028	-.894	.024	-.058	-.008	-.060
SCS	-.456	-.456	-.433	-.167	-.391	.184	-.222	.187	-.020	-.206
MUN	.045	.041	.020	-.020	-.057	.094	-.069	.005	.502	-.090
PE	.127	.170	.047	.076	.161	.074	-.074	-.295	-.073	.164

HL: 在群期間84、PL: 生産期間84、DL: 在群能力、MT: 搾乳時気質、MSP: 搾乳性、DO: 空胎日数、FSCC: 初回授精受胎率、SCS: 体細胞スコア、MUN: 乳中窒素体、PE: 泌乳持続性

上三角:表型相関、下三角:遺伝相関、対角:遺伝率

(6) 長命性形質と繁殖性形質における泌乳形質と体型形質に関する遺伝相関

表 15-8 には長命性形質と繁殖性形質における泌乳形質と体型形質に関する遺伝相関を示した。乳量と乳成分量は長命性の形質との間に-0.197 から-0.013 の範囲で無相関から低い負の遺伝相関が推定された一方、空胎日数との間で 0.342 から 0.411、初回授精受胎率との間で-0.326 から-0.382 の遺伝相関が存在した。すなわち、泌乳能力に対する選抜は長命性の短縮と繁殖性の低下を誘導する方向に間接反応が生じる可能性を示唆している。

長命性と体型の関係において、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅の体の大きさに関係する形質は、長命性との間に-0.153 から-0.332 の範囲で負の遺伝相関が推定された。また、これらの体型形質は空胎日数との間に 0.078 から 0.239 の正の遺伝相関、初回授精受胎率との間に-0.374 から-0.123 の範囲で負の遺伝相関が推定された。このことは大型化への選抜は、長命性の短縮と繁殖性の低下が誘引される可能性を示唆している。同様に乳用性と長命性および繁殖性の遺伝相関からも積極的な乳用性の改良は長命性の短縮と繁殖性の低下が進む可能性があることが推察された。

肢蹄と歩様は長命性の形質との間に 0.176 から 0.285 の範囲、空胎日数との間にそれぞれ-0.153 と-0.226 の遺伝相関が推定された。また、乳器、前乳房の付着および乳房の深さは長命性の形質との間に 0.244 から 0.282 の範囲で正の遺伝相関が存在し、空胎日数との間には-0.181 から-0.045、初回授精受胎率との間に 0.042 から 0.201 の範囲で正の遺伝相関が存在した。肢蹄と歩様は、乳器、前乳房の付着および乳房の深さと共に繁殖性を改良できる数少ない体型形質と考えられた。

表15-8. 長命性形質と繁殖性形質における泌乳形質と体型形質に関する遺伝相関

形質	長命性			繁殖性	
	HL	PL	DL	DO	FSCC
乳量	-.100	-.056	-.197	.411	-.382
乳脂量	-.039	-.013	-.132	.342	-.328
無脂固形分量	-.076	-.033	-.173	.402	-.371
乳タンパク質量	-.064	-.030	-.147	.349	-.326
乳脂率	.057	.040	.068	-.083	.072
無脂固形分率	.135	.116	.169	-.205	.205
乳タンパク質率	.086	.062	.127	-.204	.192
決定得点	.145	.137	.107	.025	-.065
体貌と骨格	-.061	-.078	-.076	.049	-.116
高さ	-.153	-.171	-.172	.078	-.123
胸の幅	-.234	-.247	-.240	.107	-.228
体の深さ	-.292	-.304	-.332	.239	-.374
坐骨幅	-.221	-.232	-.256	.153	-.150
尻の角度	.054	.055	.066	-.043	.071
乳用強健性	-.312	-.314	-.394	.378	-.422
鋭角性	-.358	-.354	-.441	.467	-.459
ボディコンディション	.277	.262	.384	-.473	.329
肢蹄	.285	.261	.245	-.153	.056
後肢側望	-.185	-.176	-.183	.130	-.028
後肢後望	.118	.106	.124	-.047	-.033
蹄の角度	-.073	-.085	-.072	.003	-.033
歩様	.190	.176	.222	-.226	.091
乳器	.277	.282	.254	-.045	.042
乳房の付着	.244	.245	.249	-.135	.107
後乳房の高さ	.083	.090	.050	.073	-.016
後乳房の幅	-.247	-.232	-.287	.296	-.300
乳房の懸垂	-.049	-.040	-.051	.088	-.135
乳房の深さ	.261	.246	.267	-.181	.201
前乳頭の配置	-.050	-.055	-.007	.019	-.038
前乳頭の長さ	-.091	-.089	-.090	.060	-.102
後乳頭の配置	-.116	-.111	-.093	.049	-.098
乳房の傾斜	0.10	0.10	0.07	0.01	-0.12

HL: 在群期間84、PL: 生産期間84、DL: 在群能力、DO: 空胎日数、FSCC: 初回授精受胎率(初産牛)

4. 結論および考察

今年度の分析では、家畜改良センター(NLBC)において遺伝評価されているほとんどの形質の遺伝的パラメータを推定することができた。体の大型化や乳用性の改良は長命性の短縮を生じる可能性が明らかになった。乳房形質による選抜改良は長命性の延長が期待でき、肢蹄形質に対する選抜は長命性のみな

らず繁殖性の改良も期待できることが判明した。本分析では、未経産の初回授精受胎率と他形質間の遺伝的パラメータの推定を行わなかったが、今後 NLBC から遺伝評価値が公表される可能性のある体型形質や疾病形質も含めて推定する必要があるだろう。

第16章 体型に関する各種成分の見直し

1. はじめに

体の大きさ成分と肢蹄成分は、先のJRA事業の「乳用牛DNA情報による長命連産性向上事業」において体のサイズ指数および肢蹄指数として開発された。乳房成分は1995年からNTPを構成する成分として実用化されている。体のサイズ指数と肢蹄指数はNTPに組み込むため、乳房成分という名称に準じて名称を体の大きさ成分および肢蹄成分に改めた。

本事業では新たに遺伝的パラメータ(遺伝分散共分散)を推定し詳細については第15章で報告した。それに伴い体の大きさ成分、肢蹄成分および乳房成分についても、最新の遺伝的パラメータを使用して見直すこととした。

2. 体の大きさ成分の見直し

(1) 開発の指針

近年、わが国のホルスタイン集団は大型化が進んでいる。また、体の大きさと生産寿命との間には負の遺伝相関が存在することがすでに明らかであり、酪農業界では飼養管理や搾乳管理に最適な大きさの雌牛の体型が求められている。体貌と骨格の得率を維持しながら体の大きさを最適な大きさに改良する体のサイズ指数については、「乳用牛DNA情報による長命連産性向上事業」において開発したことがあるが、最近本事業において最新のデータを使用して遺伝分散共分散を再推定したことから、体のサイズ指数を体の大きさ成分と名称を変更し、もう一度見直すことにした。

(2) 遺伝相関の特徴と固有値分解

表16-1には、体の大きさと生産寿命に関連する形質の遺伝相関を示した。体貌と骨格、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅の各間には中程度から高い正の遺伝相関が存在し、それらは0.903(胸の幅と体の深さ)から0.505(高さと坐骨幅)の範囲にあった。生産寿命に関連する3形質の間には非常に高い遺伝相関(0.970から0.996)が存在した。生産寿命に関連する3形質は、体貌と骨格を除く体の大きさに関連する4形質との間に低い負の遺伝相関が存在した。このことから、大型化への選抜は生産寿命が短縮する方向に反応する可能性がある。生産寿命に関連する形質と負の遺伝相関が比較的大きい形質は体の深さであり-0.332から-0.292の範囲にあった。次に遺伝相関が高いのは胸の幅と坐骨幅であり、それぞれ-0.234から-0.247および-0.221から-0.256の範囲にあった。一方、体貌と骨格は生産寿命に関連する形質との間に-0.061から-0.078の範囲の遺伝相関があり、これはむしろ無相関に近い値である。

はじめに体の大きさに関連する形質と生産寿命に関連する形質の遺伝相関の特徴を把握するために固有値分解を行い、最も効率的な選抜が可能な主成分(固有ベクトル)を見つけ出すための分析を行った。表16-2には、体の大きさに関連する5形質と生産寿命に関連する3形質によって構成された遺伝相関行列の固有値と固有ベクトルを示した。主成分ベクトルは固有値の大きさから算出された寄与率の順に示した。第1主成分のベクトルは寄与率が52.5%であり半分以上の情報を説明した。第1主成分は体の大きさに対して正の負荷量(重み)、生産寿命に対して負の負荷量が推定されたことから大型の個体は生産寿命が短いことを示唆している。体の大きさに関連する形質と生産寿命に関連する形質の負荷量の正負を逆転すれば、総合的評価として遺伝的に小型の個体は生存能力が高いことを示唆している。

表16-1. 体の大きさに関連する形質と生産寿命に関連する形質の遺伝相関

	体貌と骨格	高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅	在群期間84	生産期間84	在群能力
体貌と骨格	1.000							
高さ	0.768	1.000						
胸の幅	0.730	0.790	1.000					
体の深さ	0.693	0.702	0.903	1.000				
坐骨幅	0.528	0.505	0.531	0.493	1.000			
在群期間84	-0.061	-0.153	-0.234	-0.292	-0.221	1.000		
生産期間84	-0.078	-0.171	-0.247	-0.304	-0.232	0.996	1.000	
在群能力	-0.076	-0.172	-0.240	-0.332	-0.256	0.975	0.970	1.000

表16-2. 体の大きさに関連する形質と生産寿命に関連する形質の遺伝相関行列の固有値と固有ベクトル

固有値	寄与率	固有ベクトル							
		体貌と骨格	高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅	在群期間84	生産期間84	在群能力
4.200	0.525	0.347	0.375	0.412	0.414	0.318	-0.309	-0.315	-0.318
2.494	0.312	0.338	0.284	0.250	0.191	0.140	0.486	0.478	0.471
0.609	0.076	-0.025	-0.140	-0.232	-0.281	0.919	0.031	0.030	0.002
0.347	0.043	0.529	0.491	-0.371	-0.546	-0.166	-0.079	-0.092	-0.033
0.231	0.029	0.692	-0.683	-0.134	0.174	-0.065	-0.021	-0.017	-0.025
0.089	0.011	0.065	-0.218	0.705	-0.574	-0.020	-0.152	-0.159	0.268
0.027	0.003	-0.041	0.053	-0.244	0.234	0.040	-0.277	-0.458	0.770
0.003	0.000	-0.001	-0.016	0.028	-0.024	-0.007	0.749	-0.654	-0.102

第2主成分の寄与率は31.2%を占め、体の大きさおよび生産寿命に関連する形質の負荷量はすべて正の値を示した。特に第2主成分では体の大きさよりも比較的体貌と骨格の負荷量が多いことから、体貌と骨格の改良を進めることで大型牛であっても生産寿命が長くなる可能性もありうることを示唆している。第3主成分以下は非常に寄与率が低いことから、本分析では無視した。

ホルスタインは大型化を続けていることから、飼養管理に適した大きさに改良する必要があり、そのためには第1主成分を利用した主成分得点を利用した選抜が効果があると考えられる。一方、第2主成分からは体貌と骨格に対する正の負荷量を大きくすることで生存能力が高くなることが期待できる。体貌と骨格は体の大きさ以外の形質、例えば各体型部位のつりあいや姿勢の優美さなども評価し、決定得点を決定する際の25%に影響する形質である。それゆえ、体貌と骨格の得率が遺伝的に低下しないように調整する必要がある。そこで、これら主成分の特徴を利用し、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅に対し負の重みを負荷する一方で、体貌と骨格に対して正の重みを負荷することで生産寿命や繁殖性の間接反応が期待できる重み付けを検討した。

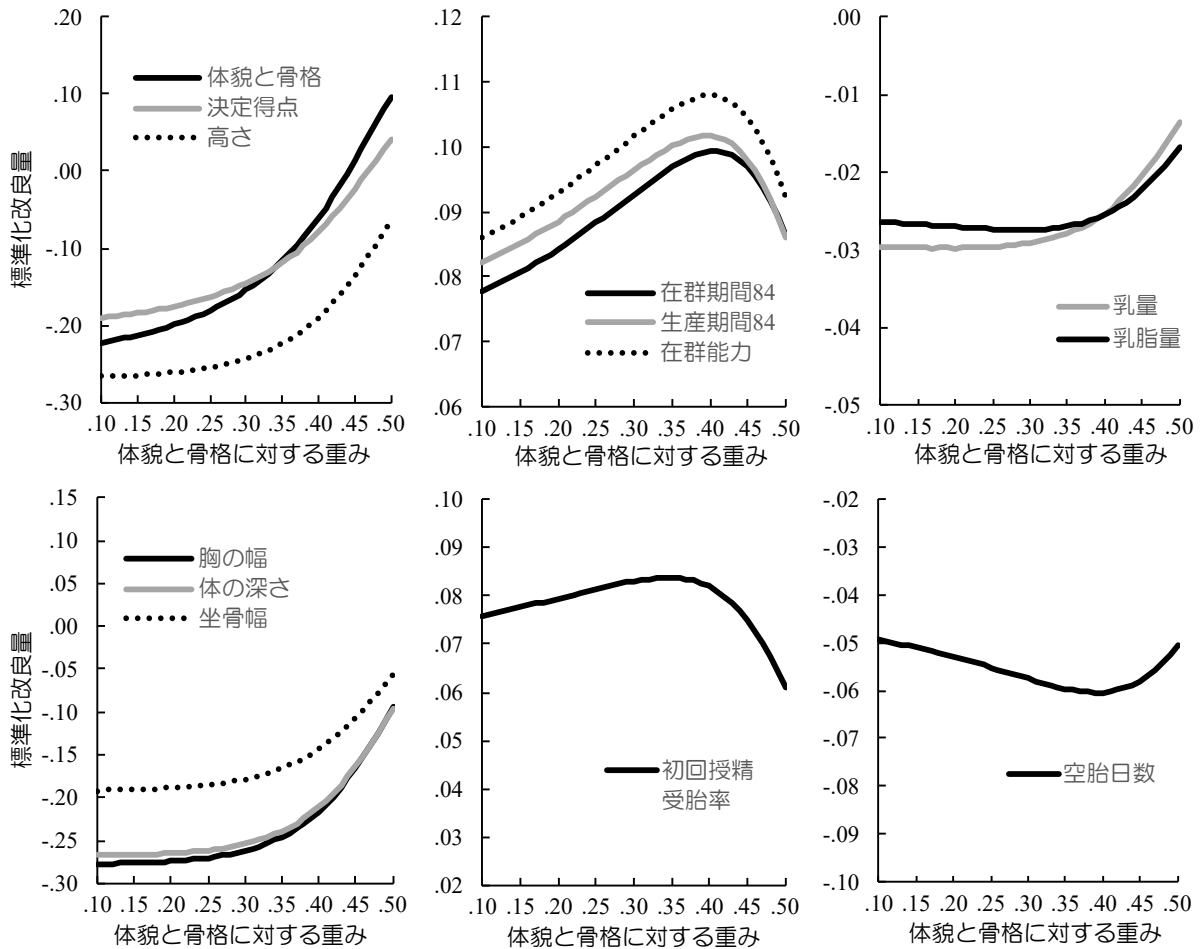


図16-1. 合成変数の重みに対し体貌と骨格に対する正の重みを増やした場合の各形質の年当たり改良量
 合成変数：高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅に対しそれぞれ-0.25：-0.27：-0.27：-0.21の重みを負荷

(3) 体の大きさ成分の作成と改良量

具体的には第1主成分を利用し、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅に対して合計の重みが1.00になるように各々-0.25：-0.27：-0.27：-0.21の負の重みを負荷し合成変数を作成した。図16-1には、この合成変数の重みに対し体貌と骨格に対する正の重みを増やした場合の各形質の年当たり改良量を示した。体貌と骨格、決定得点、体の大きさに関連する形質および泌乳量は、体貌と骨格の重みが0.35以上になると改良量が急速に上昇する傾向が認められた。生産寿命に関連する形質および初回授精受胎率の改良量は体貌と骨格の重みの増加に伴い上昇したが、体貌と骨格の重みが0.35以上になると改良量の上昇が緩慢になりその後低下する傾向が見られた。空胎日数の改良量は、おおよそ初回授精受胎率の反対の傾向を示した。その結果、繁殖性の改良量が最大になる重み配分(試作1)は体貌と骨格と合成変数が0.35：0.65、生産寿命の改良量が最大になる重み配分(試作2)は0.40：0.60、さらに体貌と骨格に対する重みが正の方向に改良することが期待できる重み配分(試作3)として0.45：0.55であることがわかった。試作した体の大きさ成分は以下のとおり。

試作1 = 0.35(体貌と骨格) - 0.16(高さ) - 0.18(胸の幅) - 0.18(体の深さ) - 0.13(坐骨幅)

試作2 = 0.40(体貌と骨格) - 0.15(高さ) - 0.16(胸の幅) - 0.16(体の深さ) - 0.13(坐骨幅)

試作3 = 0.45(体貌と骨格) - 0.14(高さ) - 0.15(胸の幅) - 0.15(体の深さ) - 0.11(坐骨幅)

表16-3. 試作した3種の体の大きさ成分に含まれる形質と重み

	旧指数 (2020) ^{a)}	再分析		
		試作1 ^{b)}	試作2 ^{c)}	試作3 ^{d)}
体貌と骨格	0.41	0.35	0.40	0.45
高さ	-0.29	-0.16	-0.15	-0.14
胸の幅	-0.08	-0.18	-0.16	-0.15
体の深さ	-0.10	-0.18	-0.16	-0.15
坐骨幅	-0.12	-0.13	-0.13	-0.11

a) 2020年に試作した繋ぎ飼いと放し飼いの指数の平均

b) 繁殖性の改良量が最大

c) 生産寿命の改良量が最大

d) 体貌と骨格が正の改良量

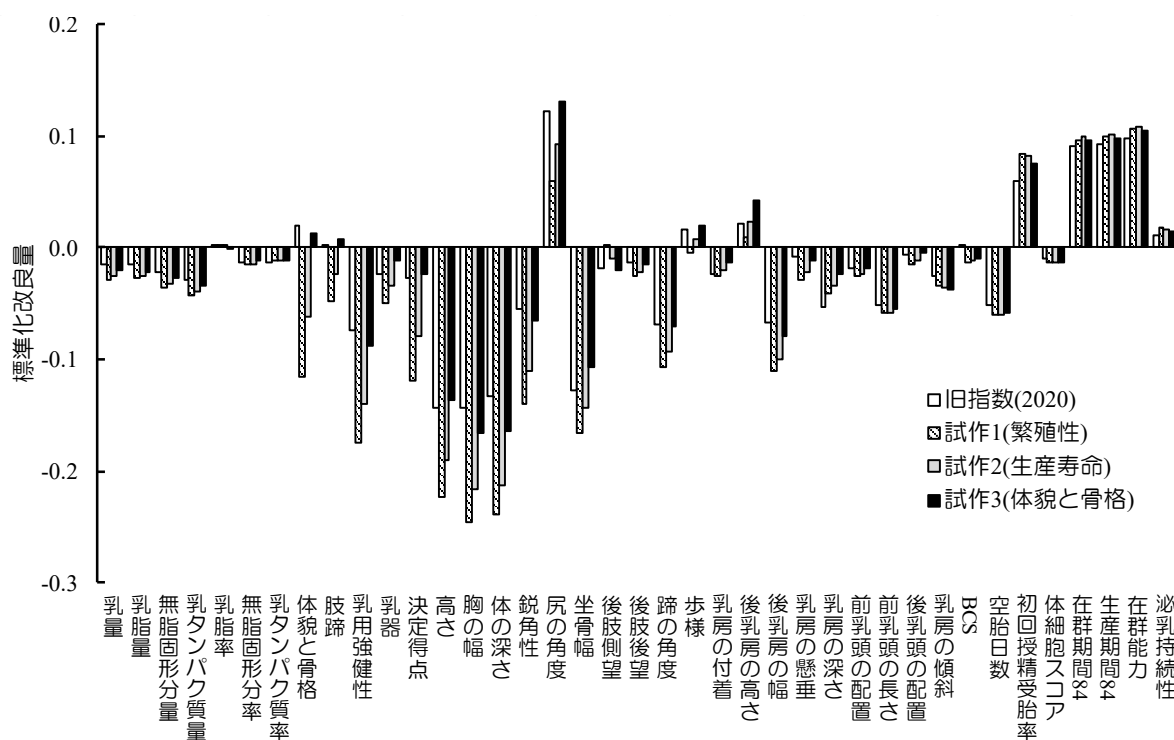


図16-2. 体の大きさ成分として試作した各指数を使用して選抜した時の各形質の年当たり改良量、旧指数と試作1から3の詳細は表5-3を参照

表 16-3 には 2020 年に試作した体のサイズ指数(旧指数)と伴に体の大きさ成分に関する 3 種類の試作を示した。2020 年に開発した指数では高さに対する負の重みが大きかったが、新たな遺伝相関から推定した重みでは高さ、胸の幅および体の深さの 3 形質において大きな差異がなく比較的バランスよく配分されている。図 16-2 には旧指数と試作 1 から試作 3 によって選抜した時の各形質の改良量(遺伝標準偏差により標準化)を示した。また、表 16-4 には旧指数と試作 1 から試作 3 により選抜した場合の各形質の年当たり改良量を示した。

表16-4. 旧指数と試作1から試作3により選抜した場合の各形質の年当たり改良量

	旧指数(2020)	試作1 (繁殖性)	試作2 (生産寿命)	試作3 (体貌と骨格)
乳量	-10.2	-18.5	-16.8	-13.7
体貌と骨格	0.019	-0.114	-0.061	0.012
肢蹄	0.002	-0.028	-0.014	0.005
乳器	-0.021	-0.042	-0.029	-0.010
決定得点	-0.019	-0.085	-0.057	-0.017
高さ	-0.106	-0.166	-0.142	-0.102
体の深さ	-0.059	-0.107	-0.095	-0.073
空胎日数	-0.919	-1.059	-1.073	-1.031
初回授精受胎率	0.450	0.638	0.624	0.571
在群期間 ⁸⁴	0.525	0.561	0.575	0.561
生産期間 ⁸⁴	0.443	0.483	0.490	0.473
在群能力 ^{a)}	7.27	7.83	7.99	7.73

a) $\times 10^{-3}$

前述したように試作1を使用した選抜では繁殖性、試作2を使用した場合は生産寿命の改良量が最も高くなったが、試作3を使用した選抜も含め、繁殖性と生産寿命の改良量の差異は顕著なものではなかった。体型得点形質と体の大きさに関連する線形形質の改良量は試作1から試作3において顕著に変化した。指数1を使用した選抜は初回授精受胎率の改良量が最も高くなり、3種の試作の中では体の大きさを最も速く小型化できる可能性が認められた。一方、試作3は体の大きさを小型化する速度は遅いものの、体貌と骨格を正の方向に改良できる可能性がある。

(4) 考察とまとめ

近年、ホルスタインの大型化が顕著になるとともに生産寿命と体のサイズとの間に負の遺伝相関が認められるようになった。本分析では体貌と骨格の得率が遺伝的に低下しない範囲で、体の大きさを小型化するための指数(体の大きさ成分)を検討した。その結果、試作した体の大きさ成分の中で試作3は小型化する速度が最も遅いが、体貌と骨格を正の方向に改良しながら小型化が可能であると考えられた。将来的には体の大きさの小型化を図りながら生産寿命の延長や繁殖性の改善をさらに推進するため、試作1または試作2まで体貌と骨格の重みを下げることが検討しなければならない。そのためには審査標準の早急な見直しを実施し、大型の個体の得率が一定以上に高くない工夫が急務であると考えられる。

3. 肢蹄成分の見直し

(1) 開発の指針

肢蹄に関連する形質としては、肢蹄(得率)、後肢側望、後肢後望および蹄の角度の4形質が遺伝評価されている。しかし、生産寿命の間接反応が期待できる形質としては肢蹄のみで十分とのことから、現在のNTPの中には選抜形質として肢蹄のみが組み込まれている。一方、歩様は歩行動作や肢の運びを評価する形質であり、海外の研究では生産寿命のみならず繁殖性との関連を指摘した報告があるが、歩様の審査は放し飼いによる飼養形態に限られると言う欠点がある。本会では平成29年度から3年間で「乳用牛DNA情報による長命連産性向上事業」を実施したが、その中で放し飼いの集団において集中的に審査を実施し、それによる収集データを使用して歩様の遺伝評価方法を研究し、同時に他の指定に関する形質も利用して肢蹄指数を開発した。本事業では、遺伝分散共分散を再推定したことから、NTPの見直しを契機に再度、肢蹄成分と名称を変えて重み付けを見直すことにした。

(2) 遺伝相関の特徴と固有値分解

表16-5には肢蹄、生産寿命および繁殖性にそれぞれ関連する形質間の遺伝相関を示した。肢蹄、後肢後望、蹄の角度および歩様におけるそれぞれの間には0.117(後肢後望と蹄の角度)から0.781(肢蹄と歩様)の範囲で正の遺伝相関が存在した。後肢側望は-0.109(後肢後望)から-0.438(歩様)の範囲で負の遺伝相関が推定された。在群期間84と在群能力は空胎日数との間にそれぞれ-0.477と-0.706、初回授精受胎率との間にそれぞれ0.489と0.676の中等度から高い遺伝相関が存在した。生産期間84は初回授精受胎率との間に0.469の中等度の遺伝相関が存在したが、空胎日数との遺伝相関は-0.046であり、無相関に近似した値であった。肢蹄は在群期間84、生産期間84および在群能力との間に低い正の遺伝相関(0.245から0.285)、空胎日数との間には-0.153の低い負の遺伝相関が存在した。同様に、歩様は在群期間84、生産期間84および在群能力との間に0.176から0.222の範囲で低い正の遺伝相関、空胎日数との間に-0.226の低い負の遺伝相関が存在した。肢蹄は歩様と比較し生産寿命に関連する形質との遺伝相関が若干高い一方、空胎日数や初回授精受胎率との遺伝相関が若干低く推定された。蹄の角度は生産寿命や繁殖性に関連する形質との間に-0.085から0.003の範囲で遺伝相関が存在し、ほぼ無相関の関係にあった。

表16-5. 肢蹄、生産寿命および繁殖性にそれぞれ関連する形質間の遺伝相関

	肢蹄	後肢側望	後肢後望	蹄の角度	歩様	在群期間84	生産期間84	在群能力	空胎日数	初回授精受胎率
肢蹄	1.000									
後肢側望	-0.437	1.000								
後肢後望	0.519	-0.109	1.000							
蹄の角度	0.383	-0.233	0.117	1.000						
歩様	0.781	-0.438	0.613	0.278	1.000					
在群期間84	0.285	-0.185	0.118	-0.073	0.190	1.000				
生産期間84	0.261	-0.176	0.106	-0.085	0.176	0.996	1.000			
在群能力	0.245	-0.183	0.124	-0.072	0.222	0.975	0.970	1.000		
空胎日数	-0.153	0.130	-0.047	0.003	-0.226	-0.477	-0.046	-0.706	1.000	
初回授精受胎率	0.056	-0.028	-0.033	-0.033	0.091	0.489	0.469	0.676	-0.894	1.000

表16-6. 肢蹄と生産寿命に関連する各形質の遺伝相関行列の固有値と固有ベクトル

固有値	寄与率	固有ベクトル									
		肢蹄	後肢側望	後肢後望	蹄の角度	歩様	在群期間84	生産期間84	在群能力	空胎に数	初回授精受胎率
4.056	0.396	0.255	-0.176	0.152	0.036	0.245	0.446	0.405	0.478	-0.328	0.347
2.412	0.235	0.477	-0.300	0.396	0.340	0.484	-0.163	-0.146	-0.197	0.152	-0.257
1.295	0.126	-0.020	-0.009	-0.071	0.207	0.078	-0.284	-0.505	-0.091	-0.635	0.446
0.974	0.095	-0.010	-0.540	-0.614	0.523	-0.187	0.057	0.098	0.014	0.092	-0.039
0.741	0.072	0.040	0.657	0.103	0.708	-0.130	0.073	0.125	0.049	0.099	0.063

表 16-6 には表 16-5 に示した遺伝相関行列から推定した固有値と固有ベクトルを示した。第 1 主成分のベクトルは寄与率が 39.6%であり 50%以上の情報を説明することができなかった。第 1 主成分は肢蹄、後肢後望、蹄の角度および歩様に対して正の負荷量、後肢側望に対し負の負荷量が推定され、さらに生産寿命の 3 形質に対し正の負荷量、空胎日数には負および初回授精受胎率には正の負荷量が推定された。第 1 主成分では生産寿命の延長と、それに影響を及ぼす体型形質として肢蹄と歩様が重要であることを示している。なお、肢蹄と歩様に対する正の負荷量はおおよそ同等であった。第 2 主成分の寄与率は 23.5%であり、第 1 主成分の寄与率と合計し 63.1%の情報を説明した。第 2 主成分では第 1 主成分と比較し、肢蹄の形質全般に対して負荷量が増加する一方、生産寿命に関連する 3 形質と初回授精受胎率に対して負の負荷量および空胎日数に対し正の負荷量が推定された。

表 16-7 には肢蹄の各形質の育種価(EBV)に対する生産寿命に関連する形質の各 EBV の一次回帰係数、生存時間解析によるリスク比の回帰係数および比較のために遺伝相関を示した。生存時間解析の遺伝とは肢蹄形質の EBV に対する生産寿命の表型値、表型とは肢蹄形質の表型値に対する生産寿命の表型値の関係を示している。肢蹄と歩様は回帰分析、生存時間解析および主成分分析から、一貫して正の方向に選抜することにより生産寿命が延長方向に反応する可能性を示唆する結果が得られた。後肢側望は表型的にスコア 5 付近が望ましいとされているが、遺伝的には回帰分析、生存時間解析および主成分分析から、負の方向に選抜することが望ましいと推測される結果が得られた。初産牛の場合は中等度よりも直飛に近い方向への選抜が生産寿命や繁殖性の改良に貢献すると推察された。

後肢後望は飛節が並行で蹄尖が外向しない状態、すなわちスコア 9 が望ましいとされているので、選抜方向は正の方向と考えられる。後肢後望と生産寿命との間には正の低い遺伝相関(0.106 から 0.124 の範囲)が認められ、主成分分析による負荷量は正の方向への選抜を示唆している。しかし、第 3 章の回帰分析では負の一次回帰係数が推定され、分析方法により後肢後望と生産寿命の遺伝的關係が一定ではないことが懸念された。

蹄の角度はスコア 5 付近が最も理想的とされている。蹄の角度に対する生産寿命との一次回帰係数、生存時間改正によるリスク比の一次回帰係数では、僅かに負の關係を示唆する結果が得られた。また、蹄の角度と生産寿命の遺伝相関は無相関(あえて言及するならば僅かに負)であったが、主成分分析では正の負荷量が推定され、分析の違いにより蹄の角度と生産寿命との遺伝的關係が一定ではなかった。

表16-7. 肢蹄の各形質の育種価に対する生産寿命に関連する形質の各育種価の一次回帰係数、生存時間解析によるリスク比の一次回帰係数および遺伝相関

肢蹄の形質	回帰係数 ^{a)}		生存時間解析 ^{b)}		遺伝相関 ^{c)}				
	生産期間84	在群能力	遺伝	表型	在群能力	在群期間84	生産期間84	空胎日数	初回授精受胎率
肢蹄	0.211	0.073	0.055	0.0123	0.245	0.285	0.261	-0.153	0.056
後肢側望	-0.063	-0.017	-0.019	-0.0082	-0.183	-0.185	-0.176	0.130	-0.028
後肢後望	-0.209	-0.075	-0.004	0.0094	0.124	0.118	0.106	-0.047	-0.033
蹄の角度	-0.141	-0.038	-0.013	-0.0047	-0.072	-0.073	-0.085	0.003	-0.033
歩様	0.412	0.142	0.028	0.0359	0.222	0.190	0.176	-0.226	0.091

a) データの採用範囲は誕生年で2004-2014年

b) 淘汰のリスク比に当てはめた一次回帰係数(正負を逆転して示した)2004-2019年に初産分娩

c) 2004-2015年に初産分娩した雌牛の記録

表16-8. 旧指数と試作した2種の肢蹄成分に含まれる形質と重み

	旧指数 (2020年試作 ^{a)})	再分析	
		試作1 ^{b)}	試作3 ^{c)}
肢蹄	0.62	0.30	0.50
後肢側望	-0.17	-0.20	-
後肢後望	0.12	0.16	-
蹄の角度	0.03	0.04	-
歩様	0.06	0.28	0.50

a) 2020年に試作した繋ぎ飼いと放し飼いの指数の平均

b) 表5-6の第1主成分の負荷量から計算した重み付け

c) 肢蹄と歩様の重みを0.5 : 0.5にした場合

(3) 肢蹄成分の試作と改良量

表16-8には2020年に開発した肢蹄指数(旧指数)と試作1および試作2の各肢蹄成分における各形質の重みを示した。試作1の重み付けは遺伝相関行列から推定した第1主成分の負荷量から求めた。試作2の重み付けは第1主成分における肢蹄と歩様の負荷量がおおよそ同程度に推定されたことから、肢蹄と歩様を0.5:0.5の割合で重み付けした。旧指数と今回新たに試作した2種の肢蹄成分を以下に示した。

$$\text{旧指数} = 0.62(\text{肢蹄}) - 0.17(\text{後肢側望}) + 0.12(\text{後肢後望}) + 0.03(\text{蹄の角度}) + 0.06(\text{歩様})$$

$$\text{試作1} = 0.30(\text{肢蹄}) - 0.20(\text{後肢側望}) + 0.16(\text{後肢後望}) + 0.04(\text{蹄の角度}) + 0.28(\text{歩様})$$

$$\text{試作2} = 0.50(\text{肢蹄}) + 0.50(\text{歩様})$$

表16-9には肢蹄または歩様を使用してそれぞれ単独で選抜した場合、旧指数、試作1および試作2の各指数で選抜した場合の各形質の年当たり改良量を示した。また、図16-3には表16-10に示した改良量を標準化して図示した。肢蹄を使用して選抜した場合、肢蹄、体貌と骨格、乳用強健性、乳器、決定得点、高さおよび鋭角性の改良量はそれぞれ年当たり0.174、0.122、0.090、0.090、0.130、0.090および0.025であり、歩様や他の指数を使用した選抜よりも改良量は高かった。それゆえ、肢蹄に対する選抜は決定得点を含む体型得点形質の改良が最も期待できたが、一方で大型化が顕著に速くなることが懸念された。

肢蹄に対する選抜は在群期間 84 と生産期間 84 においてそれぞれ年当たり 0.485 日と 0.370 日の改良量が期待できた。この改良量は 5 種の試行で選抜した場合の中で最も大きな改良量であった。一方、歩様を利用して選抜した場合、肢蹄、体貌と骨格、乳用強健性、乳器、決定得点、高さおよび鋭角性の改良量はそれぞれ年当たり 0.136、0.052、0.030、0.083、0.091、0.037 および 0.007 であり、この結果は 5 種の試行の中で体型得点形質の改良量が最も低いことを示している。歩様による選抜は特に高さの改良量が低いことから、大型化傾向を遺伝的に減速することができるものと推察された。また、歩様による選抜では、生産寿命に関連する 3 形質の改良量が最低であったが在群期間 84 の 0.324 日/年、生産期間 84 の 0.250 日/年および在群能力の 0.484 日/年、繁殖性の改良量は最も高い傾向を示すことが明らかであった(空胎日数の-1.183 日/年および初回授精受胎率の 0.204 回/年)。旧指数、試作 1 および試作 2 を使用した選抜では体型得点形質、高さ、鋭角性、繁殖性および生産寿命において肢蹄または歩様を単独で選抜した場合の中間的な改良量が得られた。旧指数は肢蹄に対する重み付けが大きいいため、体型得点形質、体の大きさに関係する高さおよび生産寿命の改良量は肢蹄を単独で選抜した場合の次に高い値を示したが、繁殖性の改良量は肢蹄の選抜の次に低い傾向を示した。

表16-9. 肢蹄、歩様、旧指数、試作1および試作2により選抜した場合の各形質の年当たり改良量

	肢蹄	歩様	旧指数 (2020)	試作1	試作2
乳量	-11.3	-21.9	-13.7	-16.4	-17.7
体貌と骨格	0.122	0.052	0.110	0.088	0.092
肢蹄	0.174	0.136	0.170	0.158	0.164
乳用強健性	0.090	0.030	0.069	0.048	0.063
乳器	0.090	0.083	0.086	0.083	0.091
決定得点	0.130	0.091	0.121	0.108	0.117
高さ	0.090	0.037	0.082	0.066	0.067
鋭角性	0.025	0.007	0.016	0.009	0.017
後肢側望	-0.045	-0.045	-0.059	-0.061	-0.048
後肢後望	0.052	0.062	0.061	0.069	0.060
蹄の角度	0.021	0.015	0.022	0.022	0.019
歩様	0.066	0.084	0.071	0.078	0.080
空胎日数	-0.801	-1.183	-0.850	-0.929	-1.053
初回授精受胎率	0.126	0.204	0.108	0.108	0.175
在群期間84	0.485	0.324	0.470	0.401	0.428
生産期間84	0.370	0.250	0.360	0.306	0.328
在群能力 ^{a)}	0.534	0.484	0.543	0.509	0.539

a) $\times 10^{-2}$

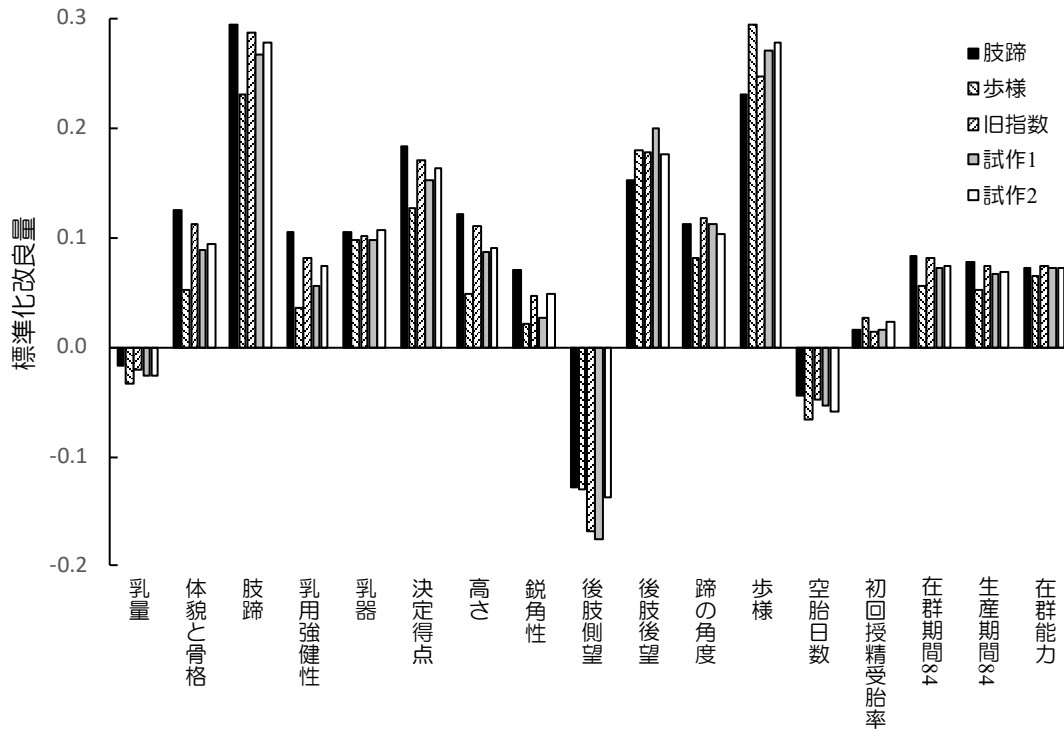


図16-3. 肢蹄または歩様を単独で選抜した場合、旧指数、試作1および試作2の各指数で選抜した場合の各形質の年当たり標準化改良量

試作2を使用して選抜した場合、試作1と比較し高さの改良量(試作1で0.066、試作2で0.067)はほぼ同じであった。しかし、体型得点形質の改良量は試作1の選抜において0.048(乳用強健性)から0.158(肢蹄)の範囲にあったが、試作2の選抜では0.063(乳用強健性)から0.164(肢蹄)の範囲で若干高い傾向が認められた。生産寿命に関連する形質の改良量は試作2による選抜よりも肢蹄や旧指数で選抜した方が期待できるが、歩様や試作1で選抜するよりも試作2による選抜は若干高い改良量が得られた。また、繁殖形質では歩様の選抜の次に試作2を使用した選抜において若干高い改良量が期待された。このことから、試作2による選抜は繁殖性と生産寿命をバランスよく改良できると考えられた。

(4) 考察とまとめ

「乳用牛DNA情報による長命連産性向上事業」では歩様の遺伝評価手法を確立したことから歩様のEBVを加え、新たに肢蹄指数を開発した。しかし、後継事業となる本事業では新たに遺伝分散共分散を推定したことから再度、肢蹄指数の見直しを行った。肢蹄の改良とそれに伴う生産寿命の間接的改良のため、NTPには肢蹄(得率)が加えられている。「乳用牛DNA情報による長命連産性向上事業」では後肢側望、後肢後望、蹄の角度および歩様を加えた肢蹄指数を作成したが、本分析の肢蹄成分の開発では大型化を助長する間接反応を修正するとともに繁殖性の改良がもう少し期待できるように修正を試みた。その結果、肢蹄と歩様の重みを0.5対0.5の重みにすることで、繁殖性と生産寿命を均等に改良できるような間接反応が生じる可能性が示唆された。なお、肢蹄と歩様の遺伝率はそれぞれ0.09と0.05であるが、EBVのみならずSNPを利用したゲノミック評価値(GEBV)により、選抜の際にある程度の選抜の正確度が確保できるならば、肢蹄と歩様を使用した肢蹄指数の活用により、改良は可能と推察された。

4. 乳房成分の開発

(1) 開発の指針

乳器および乳房に関係する形質と生産寿命との間には 0.2 から 0.3 程度の低い遺伝相関が存在することから、乳房形質は生産寿命を間接的に改良するための重要な形質である。そのため、乳房成分については、すでに実用化され現在の NTP にも組み込まれている。乳房成分は乳房に関係する 8 種類の形質によって構成されている。乳房に関連する形質と生産寿命の遺伝相関は、徐々に変化していることがわかってきている。本事業では新たに遺伝的パラメータ(遺伝分散共分散)を推定し直したことから、現在利用している乳房成分を見直すための分析を行った。

(2) 遺伝相関の特徴と固有値分解

表 16-10 には、乳房、生産寿命および繁殖性にそれぞれ関連する形質間の遺伝相関を示した。生産寿命に関連する 3 形質は、乳器、前乳房の付着および乳房の深さとの間に低い正の遺伝相関(0.244 から 0.282 の範囲)が存在した。後乳頭の配置は生産寿命の形質との間に-0.094 から-0.116 の範囲、前乳頭の長さは同様に-0.089 から-0.091 の範囲、さらに後乳房の高さは 0.051 から 0.090 の範囲でそれぞれ低い負の遺伝相関が推定された。乳房の懸垂と前乳頭の配置は生産寿命との間に遺伝相関がほとんど存在せず、無相関の関係があった。空胎日数と-0.1 以下の遺伝相関が推定された乳房形質は、前乳房の付着(-0.135)と乳房の深さ(-0.181)であり、それ以外は無相関であった。初産娘牛受胎率と+0.1 以上の遺伝相関が推定されたのは前乳房の付着(0.107)と乳房の深さ(0.201)であり、一方-0.1 以下の遺伝相関は乳房の懸垂(-0.135)と前乳頭の長さ(-0.102)で推定された。

表16-10. 乳房、生産寿命および繁殖性にそれぞれ関連する形質間の遺伝相関

	乳器	前乳房の付着	後乳房の高さ	乳房の懸垂	乳房の深さ	前乳頭の配置	前乳頭の長さ	後乳頭の配置	在群期間84	生産期間84	在群能力	体細胞スコア	空胎日数	初回授精受胎率
乳器	1.000													
前乳房の付着	0.854	1.000												
後乳房の高さ	0.736	0.483	1.000											
乳房の懸垂	0.078	-0.172	0.104	1.000										
乳房の深さ	0.751	0.738	0.563	-0.064	1.000									
前乳頭の配置	0.281	0.181	0.127	0.061	0.132	1.000								
前乳頭の長さ	-0.058	-0.028	-0.008	0.136	-0.038	-0.138	1.000							
後乳頭の配置	0.146	0.036	0.079	0.474	0.000	0.598	-0.158	1.000						
在群期間84	0.277	0.244	0.083	-0.049	0.261	-0.050	-0.091	-0.116	1.000					
生産期間84	0.282	0.245	0.090	-0.040	0.246	-0.055	-0.089	-0.111	0.996	1.000				
在群能力	0.260	0.254	0.051	-0.051	0.271	-0.007	-0.091	-0.094	0.975	0.970	1.000			
体細胞スコア	-0.157	-0.170	-0.020	0.027	-0.194	-0.005	-0.091	0.068	-0.456	-0.456	-0.433	1.000		
空胎日数	-0.045	-0.135	0.073	0.088	-0.181	0.019	0.060	0.049	-0.477	-0.046	-0.706	0.184	1.000	
初産娘牛受胎率	0.042	0.107	-0.016	-0.135	0.201	-0.038	-0.102	-0.098	0.489	0.469	0.676	-0.222	-0.894	1.000

表16-11. 乳房、生産寿命および繁殖性に関連する各形質の遺伝相関行列の固有値と固有ベクトル

	固有ベクトル				
	第1	第2	第3	第4	第5
固有値	4.481	2.805	1.693	1.374	1.120
累積寄与率	0.314	0.511	0.630	0.727	0.805
乳器	0.278	0.453	-0.076	-0.011	0.029
前乳房の付着	0.274	0.372	-0.191	0.122	-0.024
後乳房の高さ	0.162	0.416	-0.130	-0.021	0.128
乳房の懸垂	-0.051	0.111	0.423	-0.348	0.466
乳房の深さ	0.284	0.346	-0.177	0.128	0.087
前乳頭の配置	0.031	0.263	0.474	0.126	-0.211
前乳頭の長さ	-0.052	-0.017	-0.192	-0.277	0.690
後乳頭の配置	-0.036	0.236	0.643	-0.020	0.008
在群期間84	0.413	-0.185	0.065	-0.238	-0.115
生産期間84	0.384	-0.148	0.028	-0.412	-0.246
在群能力	0.436	-0.218	0.119	-0.075	-0.016
体細胞スコア	-0.235	0.085	0.005	0.312	-0.049
空胎日数	-0.270	0.229	-0.149	-0.520	-0.345
初産娘牛受胎率	0.310	-0.252	0.119	0.393	0.206

表16-12. 乳房の各形質の育種価に対する生産寿命に関連する形質の各育種価の決定係数(R²)と一次回帰係数

	生産期間84		在群能力	
	R ²	回帰係数	R ²	回帰係数
乳器	2.851	0.417	1.519	0.126
前乳房の付着	4.589	0.559	2.287	0.156
後乳房の高さ	1.238	0.304	0.341	0.054
乳房の懸垂	0.338	-0.116	0.765	-0.079
乳房の深さ	6.933	0.695	3.292	0.193
前乳頭の配置	0.063	0.058	0.024	-0.006
前乳頭の長さ	0.508	-0.172	0.168	-0.041
後乳頭の配置	0.764	-0.197	1.119	-0.100

表 16-11 には、乳房に関連する 8 形質と生産寿命に関連する 3 形質、さらに体細胞スコアと繁殖性を加えた 14 形質によって構成された遺伝相関行列の固有値と固有ベクトルを示した。主成分ベクトルは固有値の大きさから算出された寄与率の順に示した。第 1 主成分のベクトルは寄与率が 31.45%であり半分以上の情報を説明することができなかったが、第 2 主成分を加えた累積寄与率では 50%を超えた。第 1 主成分は、乳房の適性な形状に対して負荷量(重み)が加えられることで、生産寿命に対して正の負荷量が推定された。また、体細胞スコアと空胎日数には負の負荷量、さらに初産娘牛受胎率に対しては正の負荷量が推定された。

(3) 乳房成分の試作と改良量

新しい遺伝相関行列から推定した第 1 主成分の負荷量から乳房に関連する 8 形質の乳房成分を作成し、これを試作 1 とした。表 16-12 には乳房の各形質の育種価に対する生産寿命に関連する形質の各育種価の決定係数(R^2)と一次回帰係数を示した。これらの一次回帰係数から乳房成分の重みを計算した。生産期間 84 の一次回帰係数から求めた乳房成分の重みは、乳器、前乳房の付着、後乳房の高さ、乳房の懸垂、乳房の深さ、前乳頭の配置、前乳頭の長さおよび後乳頭の配置に対しそれぞれ 0.23、0.17、0.09、-0.03、0.33、0.02、-0.07 および -0.06 であった。同様に在群能力から求めた重みはそれぞれ 23、0.16、0.05、-0.07、0.31、-0.01、-0.06 および -0.11 であった。試作 2 の乳房成分はこれらの重みの平均とした。表 16-13 には、現在使用中の乳房成分(現成分)、試作 1 および試作 2 にそれぞれ含まれる乳房の形質とその重みを示した。現成分は BV に対して重み付けしているが、本分析では SBV に対する重み付けとして変換し表示している。

表16-13. 現在使用中の乳房成分(現成分)、試作1および試作2に含まれる形質と重み

	現成分	試作1	試作2
乳器	0.23	0.24	0.23
前乳房の付着	0.11	0.24	0.16
後乳房の高さ	0.06	0.14	0.07
乳房の懸垂	0.06	-0.04	-0.05
乳房の深さ	0.24	0.24	0.32
前乳頭の配置	0.06	0.03	0.01
前乳頭の長さ	-0.09	-0.04	-0.07
後乳頭の配置	-0.15	-0.03	-0.09

現成分：現在の乳房成分の重みをSBV(標準化BV)に対する重み付けに変換

試作1：第1主成分から推定した重み

試作2：回帰係数から推定した重み

表16-14. 現在使用中の乳房成分(現成分)、試作1および試作2をそれぞれ使用し選抜した場合の主な形質の年当たり改良量

	現成分	試作1	試作2
乳量	-36.8	-33.5	-42.0
体貌と骨格	0.063	0.059	0.055
肢蹄	0.056	0.051	0.051
乳用強健性	0.033	0.032	0.022
乳器	0.235	0.238	0.228
決定得点	0.153	0.152	0.145
高さ	0.075	0.071	0.072
前乳房の付着	0.116	0.123	0.120
後乳房の高さ	0.092	0.095	0.088
後乳房の幅	0.001	0.003	-0.005
乳房の懸垂	-0.004	-0.013	-0.021
乳房の深さ	0.171	0.168	0.174
前乳頭の配置	0.029	0.035	0.024
前乳頭の長さ	-0.026	-0.017	-0.023
後乳頭の配置	-0.006	0.006	-0.010
乳房の傾斜	0.041	0.041	0.039
空胎日数	-0.593	-0.545	-0.691
初産娘牛受胎率	0.294	0.261	0.340
体細胞スコア	-0.021	-0.020	-0.021
在群期間84	0.507	0.454	0.500
生産期間84	0.417	0.376	0.409
在群能力 ^{a)}	0.623	0.560	0.618

図 16-4 には現在使用中の乳房成分(現成分)、試作 1 および試作 2 をそれぞれ使用し選抜した場合の各形質の年当たり標準化改良量を示した。また、表 16-14 には図 16-4 に示した形質の中から主な形質の年当たり改良量を示した。図 16-4 を使用して 3 種の乳房成分を比較した場合、予測改良量に大きな差異がないことがわかる。特に違いに言及するとすれば、試作 1 は他の乳房成分と比較し乳器、前乳房の付着および後乳房の高さの予測改良量が若干高く推定された。試作 2 は他の乳房成分と比較し乳房の深さや初産娘牛受胎率の予測改良量が若干高く推定された。また、試作 2 は空胎日数の短縮も若干大きいことが予測された。現成分は他の乳房成分と比較し在群期間 84、生産期間 84 および在群能力の予測改良量が、やはり若干ではあるが高く推定された。

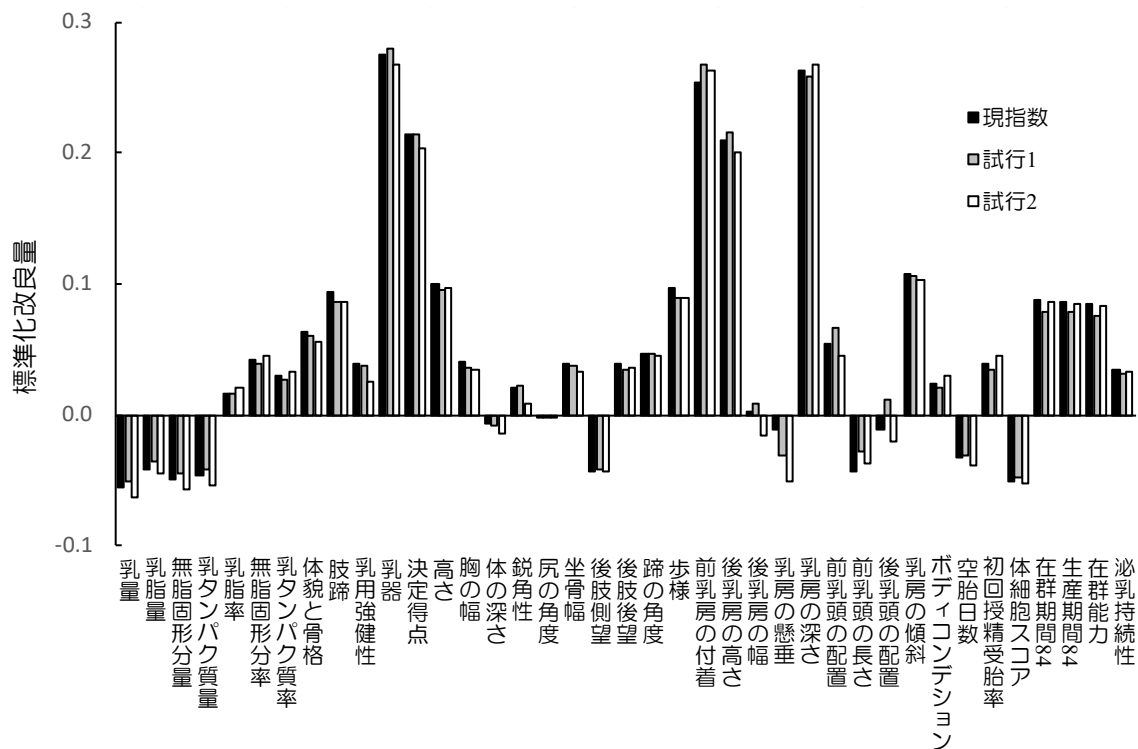


図16-4. 現在使用中の乳房成分(現成分)、試作1および試作2をそれぞれ使用し選抜した場合の各形質の年当たり標準化改良量

(4) 考察とまとめ

乳房成分はすでに利用されているものがある。本分析では、新たに推定した遺伝的パラメータに基づく試作1および生産寿命との回帰分析から得られた回帰係数に基づく試作2を現在使用中の乳房成分と比較した。試作1と試作2の特徴は乳房の懸垂に対して低い負の重み、前乳頭の配置に対し低い正の重みが推定されたことである。3種の乳房成分を使用した選抜を想定し予測改良量を推定したところ、すべての改良量に大きな差異は認められなかった。それゆえ、乳房成分は変更せず現成分を利用することが望ましいと考えられた。

第17章 繁殖性成分の開発における基礎分析

1. はじめに

JRA 事業の「乳用牛DNA情報による長命連産性向上事業」では、生産寿命の延長に関連する肢蹄と体の大きさを改良するため指数を作成したが、本事業では新たに遺伝的パラメータ(遺伝分散共分散)を推定したことから、肢蹄成分と体の大きさ成分の見直しを行い、その結果は本事業報告書の第16章に詳細を示した。一方、本事業ではNTPの見直し作業の中で、生産寿命の延長に関連する形質として新たに疾病と繁殖性の改良を進めるための対策を検討する計画である。疾病の遺伝評価法に関しては、本事業の中で並行して進めているので、その結果を待たなければならないが、繁殖性についてはすでに空胎日数および未経産と経産の初回授精受胎率の3形質が遺伝評価され公表されている。本分析では、繁殖性を改善し生産寿命の延長が期待できる繁殖性成分を作成するための分析を行った。

2. 分析方法

NLBC では、空胎日数および未経産と初産の初回授精受胎率の3形質の育種価を公表している。本分析では、これら3形質の他に繁殖性に影響する鋭角性とボディコンディション(BCS)、さらに在群期間84、生産期間84および在群能力の関係から繁殖性指数の重み付けを検討した。

3. 分析結果

(1) 遺伝相関の特徴と固有値分解

表17-1には、繁殖性の3形質、鋭角性、BCSおよび在群性の3形質における遺伝相関を示した。繁殖性の3形質において、空胎日数と初産受胎率の間には-0.894、初産受胎率と未経産受胎率との間には0.703の高い遺伝相関がそれぞれ存在した。空胎日数と未経産受胎率との間には-0.523の中程度の遺伝相関があった。鋭角性は、空胎日数と初産受胎率との間にそれぞれ0.467と-0.459の中程度の遺伝相関が観測された。同様にBCSは、空胎日数と初産受胎率との間にそれぞれ-0.473と0.329の中程度の遺伝相関が観測された。未経産受胎率は、鋭角性およびBCSとの間に低い遺伝相関が存在するに過ぎなかった(それぞれ-0.262と0.106)。生産寿命に関連する3形質において在群期間84は空胎期間との間に-0.477、初産受胎率との間に0.489の中程度の遺伝相関が存在した。生産期間84は空胎期間との間に無相関(-0.046)が観測されたが、初産受胎率との間に0.469の中程度の遺伝相関が存在した。在群能力は空胎期間との間に-0.706、初産受胎率との間に0.676の比較的高い遺伝相関があった。未経産受胎率は生産寿命に関連する3形質との間に0.119から0.232の範囲で低い遺伝相関が観測された。

はじめに繁殖性に関連する形質と生産寿命に関連する形質の遺伝相関の特徴を把握するために固有値分解を行い、最も効率的な選抜が可能な主成分(固有ベクトル)を見つけ出すための分析を行った。表17-2には、体の大きさに関連する5形質と生産寿命に関連する3形質によって構成された遺伝相関行列の固有値と固有ベクトルを示した。主成分ベクトルは固有値の大きさから算出された寄与率の順に示した。第1主成分のベクトルは寄与率が55.7%であり半分以上の情報を説明した。第1主成分は空胎日数と鋭角性に対して負の負荷量(重み)、受胎率、BCSおよび生産寿命に対して正の負荷量が推定された。特に初産受胎率と在群能力に対する正の負荷量(それぞれ0.400と0.451)が大きかった。以上から第1主成分は、繁殖性の改善と生産寿命の延長の関係を示唆していると考えられた。

表17-1. 空胎日数、初産受胎率、未経産受胎率、鋭角性、ボディコンディション(BCS)、在群期間84、生産期間84および在群能力における各間の遺伝相関

形質	空胎日数	初産受胎率 ¹⁾	未経産受胎率 ¹⁾	鋭角性	BCS	在群期間84	生産期間84	在群能力
空胎日数	1.000	-0.894	-0.523	0.467	-0.473	-0.477	-0.046	-0.706
初産受胎率 ¹⁾	-0.894	1.000	0.703	-0.459	0.329	0.489	0.469	0.676
未経産受胎率 ¹⁾	-0.523	0.703	1.000	-0.262	0.106	0.120	0.119	0.232
鋭角性	0.467	-0.459	-0.262	1.000	-0.660	-0.358	-0.354	-0.441
ボディコンディション	-0.473	0.329	0.106	-0.660	1.000	0.277	0.262	0.384
在群期間84	-0.477	0.489	0.120	-0.358	0.277	1.000	0.996	0.975
生産期間84	-0.046	0.469	0.119	-0.354	0.262	0.996	1.000	0.970
在群能力	-0.706	0.676	0.232	-0.441	0.384	0.975	0.970	1.000

1)初回授精受胎率

表17-2. 遺伝相関行列¹⁾の主成分分析によって得られた第1主成分、第2主成分および第3主成分の固有値、累積寄与率および固有ベクトル

	主成分		
	第1	第2	第3
固有値	4.453	1.661	1.143
累積寄与率 %	0.557	0.765	0.908
固有ベクトル			
空胎日数	-0.367	-0.397	0.066
初産受胎率	0.400	0.299	-0.267
未経産受胎率	0.225	0.466	-0.407
鋭角性	-0.306	-0.161	-0.526
ボディコンディション	0.263	0.150	0.675
在群期間84	0.399	-0.402	-0.104
生産期間84	0.360	-0.510	-0.084
在群能力	0.451	-0.255	-0.097

1)表17-1を参照

第2主成分の寄与率は20.8%を占め、第1主成分の寄与率を合計した累積寄与率で76.5%を占めた。第2主成分では未経産受胎率に対する正の負荷量(0.466)および在群期間84と生産期間84に対する負の

負荷量(それぞれ-0.402 と-0.510)が大きかった。第2主成分では未経産受胎率の改善と生産寿命の短縮の関係を示唆する結果が得られた。第3主成分の寄与率は14.3%であり、第3主成分までの累積寄与率は90.8%であった。第4主成分以上は寄与率が非常に低いことから省略した。

(2) 繁殖性成分の作成と改良量

繁殖性成分として第1主成分の負荷量から、空胎日数、初産受胎率、未経産受胎率、鋭角性およびBCSに対して絶対値の合計が1.00になるように各々-0.23 : 0.26 : 0.14 : -0.20 : 0.17の重みを負荷し指数1を作成した(表17-3)。また、第1主成分における空胎日数、初産受胎率および未経産受胎率の各負荷量のみを使用して指数2を作成した。指数2の空胎日数、初産受胎率および未経産受胎率に対する重みはそれぞれ-0.37 : 0.40 : 0.23であった。

$$\text{指数1} = -0.23(\text{空胎日数}) + 0.26(\text{初産受胎率}) + 0.14(\text{未経産受胎率}) - 0.20(\text{鋭角性}) + 0.17(\text{BCS})$$

$$\text{指数2} = -0.37(\text{空胎日数}) + 0.40(\text{初産受胎率}) + 0.23(\text{未経産受胎率})$$

表17-3. 繁殖性成分として指数1と指数2の試作(標準偏差単位の相対的重み)

	空胎日数	初産受胎率	未経産受胎率	鋭角性	ボディコンデション
指数1	-0.23	0.26	0.14	-0.20	0.17
指数2	-0.37	0.40	0.23		

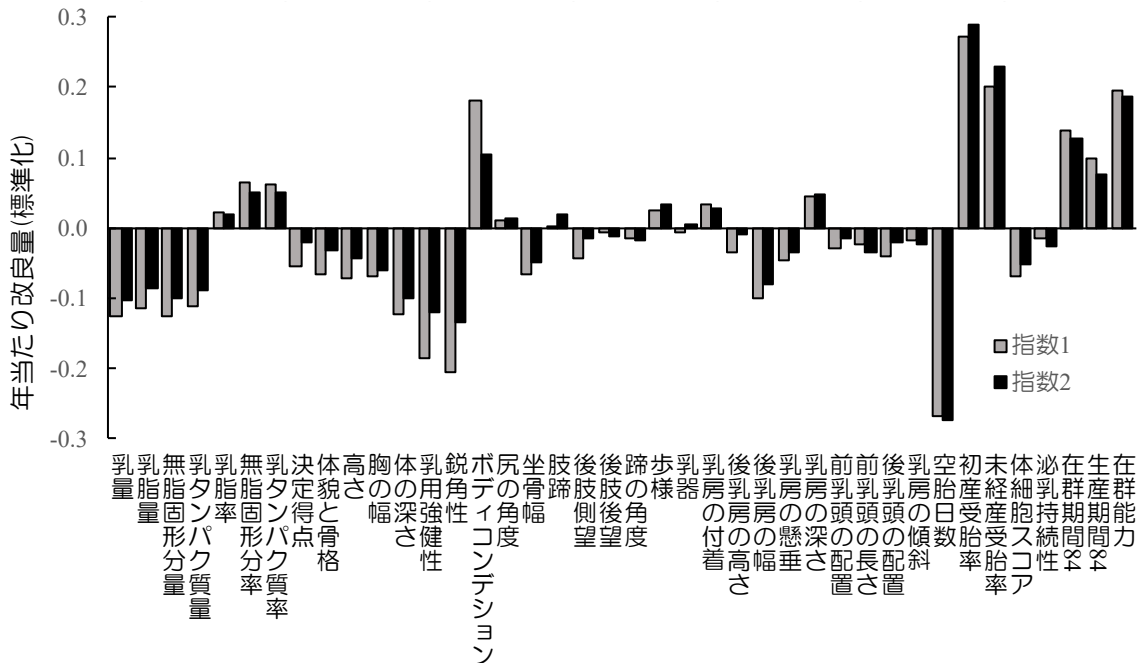


図17-1. 4種の繁殖性成分で選抜した時の各形質の年当たり改良量

指数1：空胎日数・初産受胎率・未経産受胎率・鋭角性・BCS、指数2：空胎日数・初産受胎率・未経産受胎率

図 17-1 には繁殖性成分として試作した指数 1 と指数 2 によって選抜した時の各形質の改良量(遺伝標準偏差により標準化)を示した。指数 1 と指数 2 によって選抜した時の年当たり改良量は、空胎日数においてそれぞれ 4.75 日と 4.83 日、初産受胎率においてそれぞれ 2.1%と 2.2%および末産受胎率においてそれぞれ 1.0%と 1.2%であり、指数 1 を使用した選抜において生産寿命の延長が若干速く改良される傾向が認められたが、それらの差異は大きな違いではなかった。一方、体型形質の改良量ではどちらの指数を使用した選抜でも大型化を抑制する効果が認められたが、特に指数 1 を使用した方が顕著に認められた。また、泌乳量を減少方向に反応する傾向は指数 2 よりも指数 1 を使用した選抜の方が若干大きいと考えられた。

4. 考察とまとめ

近年、繁殖性低下が懸念される状況が続いているが、繁殖成績の改善には繁殖技術や飼養管理技術の向上だけでなく、選抜による遺伝的改良も効果があることがわかっている。そのため、本分析では繁殖性を総合的に改良できる指数、すなわち繁殖性成分の開発を試みた。分析の結果、5 形質を含む指数 1 と 3 形質から構成される指数 2 を作成し、これらの指数を使用して年当たり改良量を比較した。指数 1 と指数 2 により選抜した場合、繁殖性と生産寿命の年当たり改良量に大きな違いがないことから、繁殖性成分として採用するならば、よりシンプルな指数 2 の方が使い易いと考えられた。

第18章 牛体の大きさに関する分析

1. はじめに

近年、ホルスタインの体の大きさは大型化傾向が続いていることが明らかになっている。また、多くの研究では、ある一定以上に大型化すると、生産寿命の短縮が顕著になることが判明している。その理由としては、大型化により飼養施設(例えば牛床など)にうまく適応できないこと、大型化に伴い管理者の労力が増えること、さらに飼料摂取量の増大などで牛群から淘汰せざるを得ない状況が考えられる。大型化の指標としては体重があるが、酪農現場でそれを測定するのは難しい。現在、酪農現場では、日本ホルスタイン登録協会が JRA 事業で開発した体重推定尺(胸囲から体重を予測する方法)が牛群検定事業等で利用されている。

ホルスタインが大型化する原因として、大型の個体ほど体型審査時の決定得点が高くなる傾向があり、酪農家は高得点を得たいために大型化の方向に選抜する傾向を指摘した研究がある。そこで、乳牛の選抜方向を見直すため、第1に大型化と決定得点の関係を調査した。一方、先行の JRA 事業では体型得点の低下を制御しながら適正な体格への改良を促進するため体の大きさ成分を開発した。そこで第2の研究では、線形式体型形質の育種価を利用して体重を適正な方向に改良する選抜指数(体重成分)の開発を試みた。さらに、第3の研究として、体の大きさの改良方向および改良スピードを予測するために基礎となる体重と泌乳形質および体型形質の遺伝相関を推定した。

2. 牛体の大きさと決定得点の関係

(1) データと分析方法

本分析では、初産時に体型審査形質と体重の両方を持つ雌牛に制限した。記録数は体貌と骨格(体貌骨格と略す)と坐骨幅の審査開始年が遅いため記録を持つ雌牛数が少ないが(体貌骨格は 440,964 頭、坐骨幅を持つ雌牛は 270,202 頭)、高さ、胸の幅および体の深さの記録を持つ雌牛は 498,394 頭であった。体重は乳用牛群検定事業において推定尺により得られた記録である。この推定尺は胸囲から体重を予測する方法を採用した。体貌骨格および決定得点は、日本ホルスタイン登録協会により集積した体型審査データの中から抽出した。分析には成長に伴う変化を考慮するため初産乳期中で 35 ヶ月齢以内に体重測定と体型審査の両方を行った雌牛記録を利用した。なお、体貌骨格は決定得点を構成する形質であり、体の大きさに関与している可能性が高い。そのため、本分析では各雌牛を誕生年別に分け、体貌骨格および決定得点と体重、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅の各相関係数の変化を調査した。

(2) 結果と考察

表 18-1 には体重(推定尺)、体貌骨格、決定得点および体の大きさに関する線形式体型形質(高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅)の記録数(雌牛数)、平均値、標準偏差、最小および最大を示した。また、図 18-1 には体貌骨格および決定得点と体重、高さおよび胸の幅の誕生年に対する相関係数の変化を示した。すべての相関は有意($P < 0.01$)を示した。体重と体貌骨格の間には 0.25(1995 年)から 0.09(2019)の範囲で低い相関関係があり、年次に対して低下が認められた。体重と決定得点の相関は体貌骨格と体重の相関より低く、0.24(1996 年)から 0.07(2019 年)の範囲で低下した。このことから、体貌骨格や決定得点は、体重との正の表型相関が徐々に低下していることが判明した。

表18-1. 分析に使用した体重(推定尺)、体貌と骨格、決定得点および体の大きさに関する4つの線形式体型形質の記録数(雌牛数)、平均値、標準偏差、最小および最大

	雌牛数	平均値	標準偏差	最小	最大
体重 kg	498,394	570.5	59.0	209	988
体貌骨格	440,964	79.7	2.3	50	88
決定得点	498,394	79.6	1.9	56	87
高さ	496,867	6.6	1.4	1	9
胸の幅	496,867	5.3	1.1	1	9
体の深さ	496,867	5.6	1.1	1	9
坐骨幅	270,202	5.2	1.1	1	9

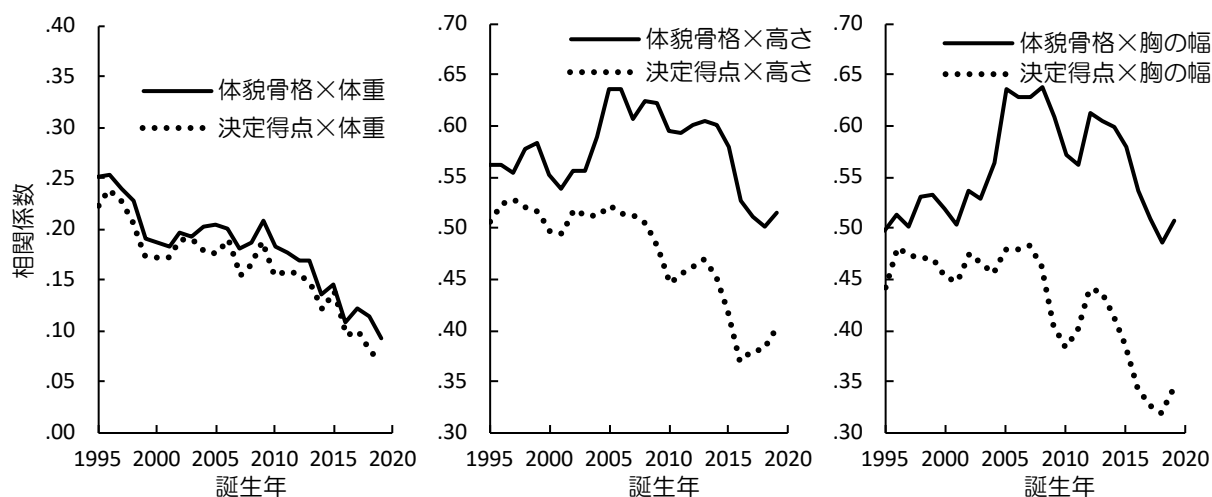


図18-1. 体貌骨格および決定得点と体重、高さおよび胸の幅の誕生日に対する相関係数の変化

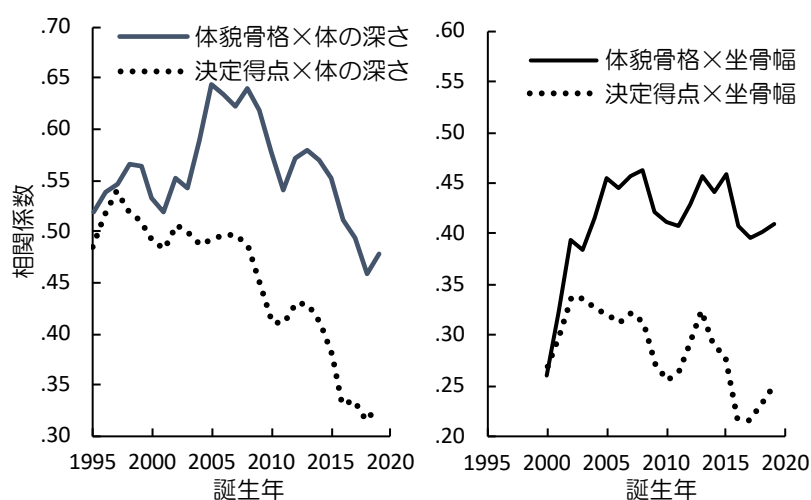


図18-2. 体貌骨格および決定得点と体の深さおよび坐骨幅の誕生日に対する相関係数の変化

高さと体貌骨格の間には 0.64(2005 年)から 0.50(2018 年)の範囲で年次に対し低下した。体重と決定

得点の表型相関は体貌骨格と体重の相関より低く、0.52(1997年)から0.37(2016年)の範囲で年次に対し低下した。高さと同様に体貌骨格の表型相関が0.60以上を観測したのは2005年頃から2014年頃までの約10年間であった。一方、高さと同様に決定得点の表型相関は、2007年(表型相関で0.48)頃をピークに低下傾向が見られた。

図18-2には体貌骨格および決定得点と体の深さおよび坐骨幅の誕生年に対する表型相関の変化を示した。体貌骨格は、胸の幅および体の深さのそれぞれとの間に高さとの表型相関と類似した傾向を示し、いずれも2008年頃(両方とも0.64)からの低下が顕著に認められた。最低の表型相関は体貌骨格と胸の幅の間において0.49(2018年)、体貌骨格と体の深さの間において0.46(2018年)であった。体貌骨格と坐骨幅の表型相関は2005年以降顕著な低下は見られず、0.40(2017年)から0.46(2008年)の範囲にあった。決定得点は胸の幅、体の深さおよび坐骨幅との表型相関が2008年頃から低下が見られた。その結果、決定得点との間で最も低い表型相関は、高さ0.37(2016年)、胸の幅0.32(2018年)、体の深さ0.32(2018年)および坐骨幅0.22(2017年)であった。2007年に審査標準の改正が行われ体型各部位の評点配分が変化したことから、体の大きさと決定得点の表型相関低下は、これに影響を受けた可能性がある。多くの研究報告は、体の大きさと生産寿命との間には負の遺伝相関が存在することを報告している。それゆえ、牛体の大型化を促進するような体型審査は望ましいと言えない。現状でも決定得点と体の大きさの相関がゼロではないことから、さらに相関がゼロに近似するまで体型審査の手法を調整する努力が必要と推察された。

3. 体重成分の開発

(1) データと分析方法

体重は、乳用牛群検定事業において推定尺を使用し、初産の泌乳中の雌牛の胸囲から推定した体重である。高さ、胸の幅、体の深さ、坐骨幅およびBCSの各SBV(標準化育種価)は初産乳期中の記録から推定され、(独)家畜改良センターが公表したものである。高さ、胸の幅、体の深さ、坐骨幅およびBCSの各SBVは各々SBV_sta、SBV_chw、SBV_dpt、SBV_rmpおよびSBV_bcsである。推定体重とSBV_sta、SBV_chwおよびSBV_dptは658,664記録であった(表18-2)。坐骨幅とBCSはSBV_rmpとの間で295,175記録、SBV_bcsとの間で223,018記録であった。分析には以下の統計モデルを仮定した。

$$y = \mu + b_1 \text{Age} + b_2 \text{SBV} + e$$

ここで、yは推定体重、 μ は切片、Ageは月齢(<36ヵ月齢)、SBVはSBV_sta、SBV_chw、SBV_dpt、SBV_rmpまたはSBV_bcsのいずれかを示し、 b_1 と b_2 はそれぞれ回帰係数、eは残差である。特に初産の泌乳期間は成長を続けていることから、月齢と共に体重が増加することが想定されるのでAge効果を考慮した。体重と体の大きさとの関係において遺伝的成分と環境的成分がそれぞれ独立であれば近似的にはあるが、体の大きさに対する体重の遺伝的關係を示している。

(2) 結果と考察

表18-2には、分析に使用した雌牛の初産時の推定体重とSBV_sta、SBV_chw、SBV_dpt、SBV_rmpおよびSBV_bcsに関する雌牛数、平均標準偏差(SD)、最小および最大を示した。推定体重は、564kg±61kgであった。先行のJRA事業で設定した20ヵ月齢から35ヵ月齢の推奨体重は533.0kgから674.5kgであり、分析に利用した推定体重の平均値はその範囲内であった。

表18-2. 分析に使用した雌牛の初産時の推定体重と高さ、胸の幅、体の深さ、坐骨幅およびBCS(ボディコンディション)の各SBV(標準化育種価)の雌牛数、平均標準偏差(SD)、最小および最大

	雌牛数	平均	SD	最小	最大
推定体重 kg	658,664	564	61	209	988
SBV(標準化育種価)					
高さ	658,664	-1.32	1.14	-5.66	3.26
胸の幅	658,664	-0.52	1.06	-5.28	3.98
体の深さ	658,664	-0.37	0.99	-5.20	3.77
坐骨幅	295,175	-0.52	1.04	-4.86	4.35
BCS	223,018	0.33	1.01	-4.04	4.97

表18-3. 推定体重と高さ、胸の幅、体の深さ、坐骨幅およびBCS(ボディコンディション)の各SBV(標準化育種価)の相関係数

	体重	SBV(標準化育種価)			
		高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅
推定体重					
SBV(標準化育種価)					
高さ	0.31				
胸の幅	0.25	0.70			
体の深さ	0.25	0.66	0.85		
坐骨幅	0.15	0.59	0.55	0.50	
BCS	-0.02	-0.22	0.01	-0.10	-0.15

表 18-3 には推定体重、SBV_sta、SBV_chw、SBV_dpt、SBV_rmp および SBV_bcs の相関係数を示した。推定体重の遺伝的成分と環境的成分がそれぞれ独立と仮定すれば、推定体重と各形質の SBV の相関はおおよそであるが遺伝的関係を示していると考えられる。推定体重は SBV_sta との間に 0.31、SBV_chw と SBV_dpt との間に 0.25 および SBV_rmp との間に 0.15 のいずれも低い正の相関が観測された。すなわち、遺伝的により大型の個体ほど体重が重たいという関係である。一方、推定体重と SBV_bcs の相関は-0.02 であり、ほとんど無相関であった。なお SBV_sta と SBV_bcs との間には-0.22 の低い負の相関が認められた。このように SBV 間の傾向から遺伝的に大型の個体は、瘦身の傾向が認められた。

推定体重と体重が重い個体は、エネルギー効率が悪く生乳生産に必要なエネルギー以外に生体の維持や成長に必要なエネルギーが多くなる。その影響により生産・維持・成長に必要な経産牛の飼料費は大型個体の方が割高になる。さらに、大型化は労働力や敷料等も多く必要となりハウジングコスト(施設管理費)が上昇する。それらを総合すると、体重の増加および大型化は、飼養コストの増加を招き、結果的に生産寿命の短縮が生じると考えられる。本分析では、適正な体重・体格を維持しながら

小型化を図るための選抜に使用する選抜指数(体重成分)の開発を試みることにした。

表 18-4 には、SBV_sta、SBV_chw、SBV_dpt、SBV_rmp および SBV_bcs のそれぞれに対する推定体重の回帰分析の結果を示した。分析に使用した統計モデルに含めた月齢効果はすべて有意($P>0.01$)に推定された。切片および各 SBV の回帰係数のすべては、有意($P>0.01$)に推定された。SBV_sta の傾きと決定係数はそれぞれ 17.49 と 11.0% であり最も大きい値であった。SBV_chw と SBV_dpt、の傾きはそれぞれ 1.40 と 15.41、決定係数はそれぞれ 6.8% と 6.7% であり、推定体重への影響が類似していた。SBV_rmp の傾きは 7.99、決定係数は 3.7% であり、上述した 3 形質と比較し推定体重への影響が小さかった。一方、SBV_bcs の傾きは -1.40 となり負の関係が認められた。体重が重いほど痩身という関係は理解しがたいことから、今後更なる分析が必要と考えられた。なお、SBV_rmp と SBV_bcs の分析において平均平方誤差が SBV_sta、SBV_chw および SBV_dpt よりも低く推定されているが、SBV_rmp と SBV_bcs の記録数が少ないことに起因している。表 18-5 には、SBV に関する回帰係数から推定した体重成分を構成する各形質の重み配分を示した。上述のとおり、SBV_bcs の回帰係数がわずかに負値を示すことから体重成分の重みは SBV_sta、SBV_chw、SBV_dpt および SBV_rmp の 4 形質で配分した。SBV_sta、SBV_chw、SBV_dpt および SBV_rmp に対する各重みは、それぞれ 32%、26%、28% および 14% とし、体重成分の式は以下のとおりとした。

$$(\text{体重成分}) = 0.32 \text{ SBV_sta} + 0.26 \text{ SBV_chw} + 0.28 \text{ SBV_dpt} + 0.14 \text{ SBV_rmp}$$

体重成分と SBV_sta、SBV_chw、SBV_dpt および SBV_rmp の相関は、それぞれ 0.90、0.92、0.89 および 0.70 であり、大型化を抑制するための選抜に利用できると考えられた。また、体重成分から体重を推定する式は以下のとおりである。

$$(\text{体重}) = 524.4 + 2.53 (\text{月齢}) + 11.83 (\text{体重成分})$$

上記の式は、体重成分当たり体重が 11.83kg 変化することを示している。体重成分によっておおよその体重を判断できれば、体重と飼養管理費の支出の関係を利用し、経済的な側面から体重の選抜を効率的に実施することが可能になると推察された。

表18-4. 高さ、胸の幅、体の深さ、尻の角度およびBCS(ボディコンディション)のSBV(標準化育種価)のそれぞれに対する推定体重の回帰分析の結果

形質	切片	切片のSD	月齢	月齢のSD × 10 ⁻¹	傾き	傾きのSD × 10 ⁻¹	決定係数	平均平方誤差
高さ	522	0.654	2.503	0.250	17.49	0.620	0.110	57.14
胸の幅	527	0.669	1.689	0.253	14.40	0.680	0.068	58.48
体の深さ	527	0.670	1.648	0.253	15.41	0.730	0.067	58.51
尻の幅	524	0.937	2.516	0.366	7.99	0.970	0.037	54.98
BCS	530	1.078	2.231	0.423	<u>-1.40</u>	1.149	0.013	55.03

SD:標準誤差

表18-5. 回帰係数から推定した体重成分を構成する各形質の重み配分

	SBV(標準化育種価)			
	高さ	胸の幅	体の深さ	尻の幅
回帰係数	17.49	14.40	15.41	7.99
重みの割合	0.32	0.26	0.28	0.14

4. 体重と泌乳および体型形質の遺伝相関の推定

(1) データと分析方法

分析には牛群検定事業において胸囲から推定された体重を使用した。データは2004年1月1日から2019年12月31日の間に初産分娩し、初産分娩後45日以内に測定した推定体重である。初産分娩月齢は18から35ヵ月齢に制限し、687,160頭の雌牛記録を分析に使用した。なお、推定体重の平均と標準偏差は577.1kg±50.7kgである。推定体重の最大と最小はそれぞれ350kgと749kgであった。

体重の遺伝的パラメータの推定には、以下の統計モデルを仮定した。

$$y = HY + YM + Age + bv + e$$

ここで、 y ：体重に関する表型値、 HY ：分娩時の牛群-分娩年に関する母数効果、 YM ：分娩年月に関する母数効果、 Age ：分娩月齢グループに関する母数効果、 bv ：個体の育種価に関する変量効果および e ：残差に関する変量効果である。表18-6には各効果の水準数を示した。各母数効果には少なくとも5記録以上が含まれるように水準数を配置した。すべての個体は両親が明らかであり、血縁記録は本牛を第1世代として第3世代までを利用した。

体重と他形質との遺伝共分散を推定するため、表18-7には泌乳形質、体型形質、長命性形質、管理形質、繁殖性形質および疾病等の指標形質における各効果の水準数を示した。泌乳および体型形質は、あらかじめ牛群分散を補正した(Weigelら, 1993)。遺伝分散共分散はそれぞれ2形質ごとに多形質アニマルモデルを使用して推定した。

遺伝分散共分散はTHRGIBBS1F90プログラム(Misztalら, 2002)を使用し、Gibbsサンプリングにより推定した。20万回のサンプルを発生させ、最初の5万回をBurn-inし残りの15万サンプルの平均値から遺伝的パラメータを計算した。

表18-6. 体重のパラメータ推定に使用した統計モデルにおける各効果の水準数

効果	水準数
初産分娩年次-牛群	48,213
初産分娩年月	132
初産分娩月齢	18~35ヵ月齢の範囲15クラス
雌牛数	687,160
血縁を含む個体数	1,126,836
牛群数	4,973
種雄牛数	8,396

表18-7. 遺伝的パラメータを推定する時に統計モデルにおいて考慮した母数効果と個体数

形質	牛群効果	分娩/審査効果	ステージ効果	月齢効果	血縁含む個体数	牛群数	種雄牛数
泌乳形質	初産分娩年次-牛群 搾乳回数 65,977	初産分娩年月 192		初産分娩月齢 18~35カ月齢15区分	1,839,974	5,890	8,769
体型形質	審査員-牛群-審査年月日	審査員-審査年度	泌乳ステージ	初産時審査月齢			
23形質	64,820	230	12	18~47カ月齢15区分	1,219,188	8,577	9,340
BCS	52,674	188	12	18~47カ月齢15区分	1,023,248	7,741	8,615
LO	20,404	224	12	18~47カ月齢15区分	417,795	2,683	7,632
長命性形質	初産分娩年次-牛群	初産分娩年月		初産分娩月齢			
HL・PL	59,042	144		18~35カ月齢15区分	1,574,840	5,182	7,415
DL	48,213	132		18~35カ月齢15区分	1,471,237	4,817	7,215
管理形質	審査員-牛群-審査年月日		泌乳ステージ	初産時審査月齢			
MT・MSP	23,657		12	18~47カ月齢15区分	548,215	5,778	6,849
繁殖性形質	初産分娩年次-牛群	初産分娩年月		初産分娩月齢			
DO・FSTC	65,084	192		18~35カ月齢15区分	1,801,049	5,822	8,688
疾病等の指標形質	初産分娩年次-牛群-搾乳回数	初産分娩年月		初産分娩月齢			
SCS・MUN・PE	65,977	192		18~35カ月齢15区分	1,839,974	5,890	8,769

BCS: ボディコンディション、LO: 歩様、HL: 在群期間84、PL: 生産期間84、DL: 在群能力、MT: 気質、MSP: 搾乳性、DO: 空胎日数、FSTC: 初回授精受胎率、SCS: 体細胞スコア、MUN: 乳中窒素体、PE: 泌乳持続性

表18-8. 体重の遺伝的パラメータ

パラメータ	
遺伝分散	137.3
残差分散	1,024.5
遺伝率	0.118

(2) 結果と考察

表 18-8 には体重の遺伝分散、残差分散および遺伝率を示した。遺伝分散は 137.3kg^2 、それと比較し残差分散は非常に大きく 1024.5kg^2 が推定された。遺伝率は 0.12 であった。JRA 事業である「乳用牛 DNA 情報による長命連産性向上事業」の助成事業において川上ら(2021)は、ホルスタインの体重の遺

伝率を 0.33 から 0.44 の範囲で推定した。その報告と比較し、本分析で推定した体重の遺伝率は非常に低かった。育成期のホルスタインの体重を推定する場合、体重推定尺は高い精度で推定することが可能であるが、分娩後の体重は精度が低下する傾向がある(河原ら 2022)。また、検定委員により体重推定尺の取扱いに差異があり、それによって測定誤差が生じる場合が想定された。

表 18-9 には、体重とその他の形質の遺伝共分散、遺伝相関および表型相関を示した。体重と泌乳形質との間には低い正の遺伝相関が推定された。経産における繁殖性と体重の遺伝相関は無相関であったが、体重と未経産受胎率との間には負の低い遺伝相関が推定された。体重との間に顕著な遺伝相関が存在する体型形質は、体貌と骨格(0.508)、乳用強健性(0.434)、決定得点(0.427)、高さ(0.467)、胸の幅(0.747)、体の深さ(0.616)、鋭角性(0.349)および坐骨幅(0.363)であった。決定得点と体重の表型相関は 0.163 の低い相関であったが、遺伝相関は中程度の相関 0.427 が観測された。このことは、決定得点に対する選抜により、体重が増加の方向に間接反応する問題があることを示唆している。

乳房に関係する形質として、乳房の幅は体重と低い正の遺伝相関(0.284)が認められた。乳房の幅は体のサイズと関連していることを示唆している。また、肢蹄形質の中で蹄の角度と体重との間には、0.309 の遺伝相関が認められた。このことは立蹄めの方向への選抜は体重が重くなる方向に反応することを示唆しているが、理由は不明である。

参考文献

- 川上純平, 馬場俊見, 後藤裕作, 岡 太郎, 河原孝吉. 2021. ホルスタイン雌牛集団における体型測尺形質の表型的ならびに遺伝的発育様相の年次変化. 日本畜産学会報, 92 (2) :149 -158.
- 河原孝吉, 後藤裕作, 馬場俊見, 大澤剛史, 川上純平, 岡 太郎. 2022. ホルスタインの雌牛において胸囲の測尺値から体重を推定する統計モデルの検討. 日本畜産学会報, 93 (3) :233 -240.

表18-9. 体重とその他の形質の遺伝共分散、遺伝相関および表型相関

形質	遺伝共分散	遺伝相関	表型相関
乳量	516	0.082	0.154
乳脂量	22.60	0.102	0.146
無脂固形分量	52.06	0.107	0.158
乳タンパク質量	20.37	0.125	0.163
乳脂率	0.031	0.009	-0.005
無脂固形分率	0.101	0.046	0.032
乳タンパク質率	0.059	0.034	0.028
体細胞スコア	0.033	0.007	0.013
泌乳持続性	-0.865	-0.097	-0.070
空胎日数	13.74	0.051	0.016
初回授精受胎率	-0.001	-0.001	-0.001
未経産受胎率	-0.109	-0.209	-0.054
真の在群期間(THL84)	-7.565	-0.112	-0.006
真の生産期間(TPL84)	-6.694	-0.119	-0.025
在群能力	-1.156	-0.120	-0.020
体貌と骨格	4.907	0.508	0.183
肢蹄	1.052	0.180	0.091
乳用強健性	3.487	0.434	0.178
乳器	1.625	0.194	0.098
決定得点	2.658	0.427	0.163
高さ	3.780	0.467	0.210
胸の幅	3.259	0.747	0.206
体の深さ	2.971	0.616	0.214
鋭角性	1.294	0.349	0.118
尻の角度	0.178	0.024	0.034
坐骨幅	2.342	0.363	0.158
後肢側望	-0.311	-0.066	-0.043
後肢後望	0.366	0.076	0.057
蹄の角度	0.660	0.309	0.010
歩様	0.423	0.126	0.007
前乳房の付着	0.548	0.104	0.062
後乳房の高さ	0.115	0.024	0.058
後乳房の幅	0.978	0.284	0.154
乳房の懸垂	0.162	0.034	-0.008
乳房の深さ	0.274	0.041	-0.025
前乳頭の配置	0.402	0.056	-0.003
前乳頭の長さ	0.549	0.076	0.025
後乳頭の配置	0.126	0.019	-0.024
乳房の傾斜	0.293	0.065	-0.007
ボディコンディション(BCS)	0.778	0.156	0.048
気質	-0.142	-0.103	-0.004
搾乳性	-0.074	-0.043	-0.001

第19章 無脂固形分量の育種価を間接予測する方法

1. はじめに

長命連産効果は、酪農現場において収益性の高い雌牛集団を選抜・造成するために利用される。長命連産効果は乳牛個体の遺伝的な収益能力を円の単位で表示している。長命連産効果の中には乳量の酪農家の手取り価格と乳脂率および無脂固形分率によるスライド額によって算定された乳代が含まれている。無脂固形分量および無脂固形分率の育種価(それぞれ EBV_S と EBV_SP)は国際遺伝評価(MACE)の評価対象外であり、海外種雄牛の EBV_S および EBV_SP は公表されていない。本分析では、海外種雄牛を長命連産効果により序列するため、乳量、乳タンパク質量、乳タンパク質率の各育種価(EBV_M、EBV_P および EBV_PP)から EBV_S を予測する回帰式を推定した。

2. データと分析方法

表 19-1 には、分析に使用したホルスタイン集団の3種のデータセットを示した。これらは2022年8月評価により泌乳形質の育種価が一般公表された雌牛と種雄牛である。雌牛集団は無作為にほぼ均等に分け、データセット I と II を作成した。データセット I の雌牛数は2,407,274頭、データセット II は2,407,564頭である。データセット III は EBV_S および EBV_SP が推定されている国内種雄牛6,015頭の集団である。データセット I と III は EBV_S を予測するための回帰式を推定するために使用し、データセット II は EBV_S の予測精度を検証するために使用した。データセット III は記録数が少ないことから、回帰式の推定と予測精度の検証の両方に使用した。

表19-1. 分析に使用したホルスタイン集団の3種のデータセット(2022年8月評価で公表されたもの、雌牛は無作為にデータセット I と II の集団に分けた)

データセット	記録数
I 雌牛集団	2,407,274
II 雌牛集団	2,407,564
III 種雄牛集団	6,015

表19-2. 3種のデータセットにおける泌乳形質の育種価の平均値と標準偏差(SD)

育種価	データセット I		データセット II		データセット III	
	平均	SD	平均	SD	平均	SD
乳量	-921.3	941.8	-920.3	942.0	-599.5	912.5
乳脂量	-29.7	35.3	-29.7	35.3	-18.0	34.3
乳タンパク質量	-30.7	30.3	-30.7	30.3	-18.5	29.9
無脂固形分量	-79.9	79.9	-79.9	79.9	-50.1	78.7
乳脂率	0.078	0.229	0.077	0.229	0.072	0.288
乳タンパク質率	-0.003	0.113	-0.003	0.113	0.017	0.139
無脂固形分率	0.017	0.150	0.016	0.150	0.032	0.172

SD: 標準偏差

表19-3. 各形質の育種価間の相関係数(データセット I を使用)

	乳量	乳脂量	乳タンパク質量	無脂固形分量	乳脂率	乳タンパク質率
乳量						
乳脂量	0.85					
乳タンパク質量	0.95	0.91				
無脂固形分量	0.99	0.88	0.98			
乳脂率	-0.35	0.19	-0.15	-0.27		
乳タンパク質率	-0.22	0.14	0.10	-0.08	0.66	
無脂固形分率	-0.30	0.01	-0.03	-0.15	0.58	0.87

表 19-2 には 3 種のデータセットにおける泌乳形質の育種価の平均値と標準偏差を示した。データセット I と II において、各形質の育種価の平均値と標準偏差に顕著な差異が認められなかった。データセット III は種雄牛ファイルであり、EBV_FP を除き各育種価の平均値はデータセット I より高い傾向がみられたが、標準偏差に顕著な差異はなかった。

表 19-3 には、データセット I における泌乳 7 形質の育種価間の相関を示した。EBV_S は、EBV_M、EBV_F および EBV_P との間にそれぞれ 0.99、0.88 および 0.98 の非常に高い相関、EBV_FP との間に -0.27 の低い相関が観測された。EBV_S と EBV_PP との相関は無相関(-0.08)であった。

EBV_S を予測する式は、事前の調査において EBV_M、乳脂量の育種価(EBV_F)、乳脂率の育種価(EBV_FP)、EBV_P および EBV_PP から構成される 5 形質による重回帰モデル、EBV_M、EBV_P および EBV_PP から構成される 3 形質の重回帰モデルおよび EBV_M と EBV_P から構成される 2 形質の重回帰モデルを仮定した。上述のとおり、EBV_S と EBV_F との間には高い正の相関が存在するにもかかわらず、5 形質の重回帰モデルに含まれる EBV_F の回帰係数が負値で推定されたこと、また 3 種の重回帰モデルの決定係数および平均平方誤差に大きな差異がなかった。それゆえ、今後はモデル 1 とモデル 2 の 2 つのモデルを仮定し EBV_S の推定精度を検討することにした。モデル 1 は、EBV_M と EBV_P の 2 形質から EBV_S を推定するモデルである。モデル 2 は、EBV_M、EBV_P および EBV_PP の 3 形質から EBV_S を推定するモデルである。

$$\text{モデル 1} \quad \text{EBV}_S = \mu + a_1 \text{EBV}_M + a_2 \text{EBV}_P + e$$

$$\text{モデル 2} \quad \text{EBV}_S = \mu + a_1 \text{EBV}_M + a_2 \text{EBV}_P + a_3 \text{EBV}_{PP} + e$$

ここで、 μ は切片、 a_1 、 a_2 および a_3 はそれぞれ EBV_M、EBV_P および EBV_PP に対応する回帰係数、さらに e は残差である。分析は SAS 9.4 の GLM プロシジャを使用した。

3. 結果と考察

表 19-4 には、データセット I と III から推定した EBV_S を予測する回帰式を示した。データセット I から推定した EBV_S の予測式はモデル 1 とモデル 2 において決定係数がどちらも 0.993、平均平方誤差はそれぞれ 6.524 と 6.521 であり、わずかにモデル 2 の方が小さかった。データセット III(種雄牛集団)から推定した EBV_S の予測式はモデル 1 とモデル 2 において決定係数がどちらも 0.988 であり差異がなかったが、平均平方誤差はそれぞれ 8.811 と 8.805 であり、わずかな差であったがモデル 2 の方が小さかった。

表19-4. データセット I とⅢからそれぞれ推定したSNFの育種価(EBV_S)を予測する重回帰式

	データセット I				データセットⅢ			
	モデル1		モデル2		モデル1		モデル2	
	係数	誤差	係数	誤差	係数	誤差	係数	誤差
回帰係数								
切片	0.249	0.599×10^{-2}	0.288	0.606×10^{-2}	1.103	0.136	1.049	0.137
EBV_M	0.494×10^{-1}	0.140×10^{-4}	0.443×10^{-1}	0.120×10^{-3}	0.522×10^{-1}	0.308×10^{-3}	0.593×10^{-1}	0.240×10^{-2}
EBV_P	1.126	0.435×10^{-3}	1.284	0.366×10^{-2}	1.077	0.940×10^{-2}	0.860	0.729×10^{-1}
EBV_PP			-13.97	0.322			19.524	6.513
決定係数	0.993		0.993		0.988		0.988	
平均平方誤差	6.524		6.521		8.811		8.805	

表19-5. データセット I から推定したEBV_S予測値に対するEBV_Sの一次回帰、データセットⅡとⅢで検証した結果

データ	モデル	切片	切片のSD	傾き	傾きのSD	決定係数	平均平方誤差
Ⅱ	1	-0.167×10^{-1}	0.596×10^{-2}	1.000	0.528×10^{-4}	0.993	6.525
	2	-0.172×10^{-1}	0.595×10^{-2}	1.000	0.528×10^{-4}	0.993	6.523
Ⅲ	1	0.789	0.136	1.014	0.147×10^{-2}	0.987	8.847
	2	0.786	0.136	1.013	0.148×10^{-2}	0.987	8.861

SD:標準誤差

表19-6. データセットⅢから推定したEBV_S予測値に対するEBV_Sの一次回帰、データセット I、ⅡおよびⅢで検証した結果

データ	モデル	切片	切片のSD	傾き	傾きのSD	決定係数	平均平方誤差
I	1	-0.931	0.595×10^{-2}	0.986	0.523×10^{-4}	0.993	6.554
	2	-0.928	0.596×10^{-2}	0.986	0.524×10^{-4}	0.993	6.562
Ⅱ	1	-0.949	0.595×10^{-2}	0.986	0.523×10^{-4}	0.993	6.555
	2	-0.947	0.595×10^{-2}	0.986	0.524×10^{-4}	0.993	6.562
Ⅲ	1	-0.159×10^{-3}	0.135	1.000	0.145×10^{-2}	0.988	8.810
	2	-0.958×10^{-3}	0.135	1.000	0.145×10^{-2}	0.988	8.804

SD:標準誤差

データセット I から推定したモデル 2 において EBV_PP の回帰係数は負値(-13.97)を示した。一方、モデルⅢから推定したモデル 2 の場合、EBV_PP の回帰係数は正值(19.52)を示した。前述のとおり、EBV_S と EBV_PP との相関は無相関(-0.08)の関係にあることが要因と考えられる。

表 19-5 には、データセット I から推定した EBV_S の予測値をデータセットⅡとⅢで検証した一次回帰の結果を示した。データセットⅡを使用した検証の場合、モデル 1 およびモデル 2 から推定した

EBV_S は切片が 0.0、傾きは 1.0 にそれぞれ近似した。また決定係数はどちらも 0.993 であり、平均平方誤差はわずかにモデル 2 から予測した EBV_S の方が 6.523 と小さかったが、大きな差異ではなかった。データセットⅢを使用した検証の場合、モデル 1 およびモデル 2 から推定した EBV_S は傾きが 1.0 に近似したが、切片は 0.789 と 0.786 であった。このことは、種雄牛の EBV_S 予測値が若干過小推定(1kg 以下の差)される傾向があることを示唆している。また決定係数はどちらも 0.987 であり、平均平方誤差はモデル 1 から予測した EBV_S の方が小さかったが(8.847)、大きな差異ではなかった。

表 19-6 にはデータセットⅢから推定した EBV_S 予測値をデータセットⅠ、ⅡおよびⅢで検証した一次回帰の結果を示した。雌牛集団であるデータセットⅠとⅡを使用して推定精度を検証した場合、データセットⅢ(種雄牛の集団)から推定した EBV_S 予測値は切片が-0.928 から-0.949 の範囲にあり、約 1kg 程度過大推定される傾向が認められた。また、決定係数はすべて 0.993、平均平方誤差は 6.554 から 6.562 の範囲にあり、表 19-5 に示したデータセットⅠから推定した EBV_S 予測値の推定精度と大きな違いがなかった。データセットⅢを使用した検証では、切片が 0.0、傾きは 1.0 であることから種雄牛集団に対する適合性は高いと考えられた。

データセットⅢ(種雄牛集団)からの EBV_S 予測値を雌牛集団(データセットⅠまたはⅡ)で検証すると約 1kg 程度過大に推定される傾向があった。これは、データセットⅢが種雄牛集団であり特に泌乳能力に対して非常に強い選抜が加えられた集団であることが原因かもしれない。モデル 2 の EBV_PP に対する回帰係数はデータセットⅠとⅢにより正負に違いがあり(それぞれ-13.97 と 19.524)安定していない。実際に EBV_S 予測値が必要な集団は、MACE 評価値が公表されている海外種雄牛(輸入精液)であるから、種雄牛集団のデータセットⅢの適合性が高いモデルが望ましい。それゆえ、EBV_S の予測式はデータセットⅢから推定されたモデル 1、すなわち予測式は $EBV_S = 1.103 + 0.0522EBV_M + 1.077EBV_P$ を採用するのが望ましいと推察された。

第20章 生産寿命の改良を強化するための NTP（総合指数）の見直し並びに NTP の信頼度の推定方法の検討

1. はじめに

総合指数(NTP)の最終変更は 2015 年 2 月であり、その時に疾病繁殖成分に空胎日数と泌乳持続性を追加した。海外の状況を窺うと、酪農先進諸国の総合指数は生産寿命の改良を強化する方向に改正する傾向が認められた。一方、日本で公表されている在群期間の育種価(EBV)は国際評価(MACE)に参加していないため海外種雄牛を在群期間の EBV で序列できなかった。しかし、(独)家畜改良センター(NLBC)は在群期間の EBV に代り 2020 年 8 月から在群能力の EBV を公表し、同時に海外種雄牛の MACE も公表することになり、在群能力の EBV を NTP に組み込むことが可能になった。

在群能力の遺伝率は 0.051 であり、信頼度は乳脂量や乳タンパク質量よりも低い。NTP に在群能力を組み込む場合は産乳成分の相対的重みを減らし、在群能力の重みを挿入することになるが、それによって NTP の信頼度が低下する懸念がある。

在群能力の EBV を NTP に組み入れるための研究は、JRA 事業「令和 2 年度乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究事業」において詳細な分析を実施したが、令和 3 年度には国内で遺伝評価されているすべての形質の遺伝的パラメータを新たに推定し直したことから、相対的重みの配分ならびに遺伝的改良量を再検討した。また、NTP の信頼度についても新たな遺伝的パラメータに基づき再検討を行った。

2. 分析方法

(1) 分析に使用したパラメータ

表 20-1 には 2015 年生れの雌牛における各形質の EBV の平均値と標準偏差および信頼度の平均、さらに遺伝標準偏差と在群能力との遺伝相関を示した。EBV の平均値は NTP を作成するために必要な空胎日数と体細胞スコアのみ表示した。遺伝標準偏差 (σ_g) とは遺伝分散の平方根のことである。本分析で使用する遺伝分散 (σ_g^2) は真の育種価 (a) と推定育種価 (\hat{a}) の相関 ($r_{a\hat{a}}$) が最大になっているものと仮定し、以下の式から推定した。

$$\sigma_g^2 = \hat{\sigma}_a^2 / r_{a\hat{a}}^2$$

ここで、 $\hat{\sigma}_a^2$ は 2015 年生れの雌牛集団における EBV の標準偏差を二乗した値、 $r_{a\hat{a}}^2$ は 2015 年生れの雌牛集団における EBV の平均信頼度である。標準偏差は予測改良量と実現改良量を直接比較することを可能にするため NLBC が公表した EBV(2020-12 月評価)に基づき算出した。同様に信頼度も 2020-12 月の遺伝評価値を利用した。なお、2020-12 月評価から得られた EBV の平均値と標準偏差および信頼度の平均値は最新の評価値である 2021-8 月評価と比較し、大きな差異がないことを確認した。

表 20-1 に示した各形質の遺伝分散および遺伝共分散は令和 3 年度事業の中で最新のデータに基づき再推定した。推定方法については別途報告する。表 20-2 には NTP を構成する形質間の遺伝相関を示した。遺伝相関は年当たりの予測改良量を推定する他に NTP の信頼度の計算にも利用した。なお、分析では NTP に含まれない形質の年当たり改良量も推定したが、これら形質間の遺伝相関については掲載を省略した。

表20-1. 2015年生れの雌牛における各形質の育種価(EBV)の平均と標準偏差および信頼度の平均、さらに遺伝標準偏差と在群能力との遺伝相関

形質	2015年生れの雌牛集団		遺伝標準偏差
	EBVの標準偏差	信頼度の平均(%)	
乳量	525.7	63.0	662.4
乳脂量	19.4	61.3	24.76
無脂固形分量	39.3	57.6	51.76
乳タンパク質量	13.1	59.5	16.97
乳脂率	0.217	75.0	0.251
無脂固形分率	0.151	75.0	0.174
乳タンパク質率	0.112	73.0	0.132
体貌と骨格	0.709	51.8	0.984
肢蹄	0.370	38.6	0.595
乳用強健性	0.611	51.6	0.851
乳器	0.581	45.8	0.858
決定得点	0.496	48.1	0.716
高さ	0.607	66.0	0.747
胸の幅	0.259	50.5	0.364
体の深さ	0.336	56.5	0.448
鋭角性	0.238	47.1	0.348
尻の角度	0.460	59.2	0.597
坐骨幅	0.396	57.3	0.524
後肢側望	0.239	47.2	0.348
後肢後望	0.216	40.0	0.341
蹄の角度	0.109	36.4	0.181
歩様	-	-	0.287
前乳房の付着	0.319	48.2	0.460
後乳房の高さ	0.307	48.5	0.440
後乳房の幅	0.236	44.1	0.356
乳房の懸垂	0.275	45.1	0.410
乳房の深さ	0.508	61.1	0.650
前乳頭の配置	0.405	58.2	0.530
前乳頭の長さ	0.458	58.2	0.601
後乳頭の配置	0.348	54.2	0.473
乳房の傾斜	-	-	0.384
BCS	0.258	49.5	0.366
空胎日数	10.59	35.9	17.67
初産初回受胎率	4.550	38.6	7.320
体細胞スコア	0.254	38.4	0.409
在群期間84	-	-	5.785
生産期間84	-	-	4.821
在群能力	0.046	38.6	0.074
泌乳持続性	1.161	55.8	1.554

EBVの標準偏差と平均信頼度は2020-12月評価を使用

表20-2. NTPを構成する15の形質間の遺伝相関

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 乳脂量															
2 乳タンパク質量	.658														
3 肢蹄	-.039	.016													
4 乳器	-.022	-.002	.359												
5 前乳房の付着	-.135	-.173	.205	.854											
6 後乳房の高さ	.038	.071	.225	.736	.483										
7 乳房の懸垂	.010	.060	.128	.078	-.172	.104									
8 乳房の深さ	-.277	-.328	.276	.751	.738	.563	-.064								
9 前乳頭の配置	.026	-.026	.082	.281	.181	.127	.061	.132							
10 前乳頭の長さ	-.053	-.001	.036	-.058	-.028	-.008	.136	-.038	-.138						
11 後乳頭の配置	.071	.057	.038	.146	.036	.079	.474	.000	.598	-.158					
12 空胎日数	.342	.349	-.153	-.045	-.135	.073	.088	-.181	.019	.060	.049				
13 体細胞スコア	.028	.064	-.090	-.157	-.170	-.020	.027	-.194	-.005	-.091	.068	.184			
14 在群能力	-.132	-.147	.245	.254	.249	.050	-.051	.267	-.007	-.090	-.093	-.706	-.433		
15 泌乳持続性	-.184	.046	.055	.109	.060	.119	.014	.108	-.016	.020	-.040	.074	-.295	.047	

表20-3. NTPを開発するために仮定した選抜計画

経路		選抜率	選抜強度	信頼度	選抜の正確度	世代間隔	選抜強度×正確度	年当たり改良量
雄牛	父 SB	5%	2.064	0.50	0.70	3.3	1.445	
	母 DB	3%	2.270	0.50	0.70	2.6	1.589	
雌牛	父 SC	20%	1.400	0.73	0.85	6.9	1.190	
	母 DC	85%	0.274	0.50	0.70	3.9	0.192	
合計						16.7	4.416	0.26

選抜の正確度：SBとDBはゲノム選抜(GS)、SCは後代検定 0.65%とGS 0.35%に基づき設定

世代間隔：実際の世代間隔に基づき設定

表20-4. NTPを構成する在群能力の重みを増やす一方で産乳成分の重みを減らした場合の各形質に対する相対的重みの変化(現在のNTPは在群能力の重みが0%の場合に相当)

在群能力の割合	産乳成分			耐久性成分			疾病繁殖成分				
	乳脂量	乳タンパク質量		肢蹄	乳房成分	在群能力	体細胞スコア	泌乳持続性	空胎日数		
0%	7.0	38	62	1.8	35.0	65.0	0.0	1.2	-33	17	-50
5%	6.5	38	62	2.3	27.4	50.9	21.7	1.2	-33	17	-50
10%	6.0	38	62	2.8	22.5	41.8	35.7	1.2	-33	17	-50
15%	5.5	38	62	3.3	19.1	35.5	45.5	1.2	-33	17	-50
20%	5.0	38	62	3.8	16.6	30.8	52.6	1.2	-33	17	-50
25%	4.5	38	62	4.3	14.7	27.2	58.1	1.2	-33	17	-50

(2) 年当たり改良量の推定

表 20-3 には NTP を開発するために仮定した選抜計画を示した。選抜の正確度は SB と DB 経路においてゲノミック選抜を実施したものと仮定し、育種価の信頼度をおおよそ 50%とすることで選抜の正確度をどちらも 0.70 とした。SC において後代検定とゲノミック選抜が 0.65 : 0.35 の割合で併用しているものとし、信頼度を 73%($\approx 85\% \times 0.65 + 50\% \times 0.35$)および選抜の正確度を 0.85 と設定した。DC の選抜の正確度は未經産牛の選抜も考慮し信頼度約 50%と低めに仮定し 0.70 とした。世代間隔は全国の血統登録データから最近 5 年間(雄牛 2014-2018 年、雌牛 2016-2020 年)の平均値を調査し、SB、DB、SC および DC においてそれぞれ 3.3、2.6、6.9 および 3.9 とした。その結果、NTP により選抜した時に生じる年当たり予測改良量は $0.26\sigma_{NTP}/yr$ と仮定した。ここで σ_{NTP}/yr は年当たりの NTP の遺伝標準偏差を示している。これは前回(2021 年 1 月 29 日)の分析で仮定した予測改良量 $0.21\sigma_{NTP}/yr$ よりも高い。

今回の NTP の変更では、耐久性成分の肢蹄と乳房成分および疾病繁殖成分の各重みを変えずに、産乳成分の重みを減少させながら、その減少分の重みを在群能力の重みに割り当てる方式により、NTP として採用が可能な指数を調査した。在群能力の EBV の信頼度は泌乳形質と比較し低いことから、在群能力の重みをより増やした指数の信頼度は産乳成分の重みの減少により低下する。NTP の信頼度の推定については詳細に後述するが、事前調査において信頼度の低下量は最適な指数を選択する上で予測改良量に顕著な影響がないと考えられたことから、予測改良量はすべての指数において信頼度を変更せずに推定した。

表 20-4 には NTP を構成する在群能力の重みを増やす一方で産乳成分の重みを減らした場合の各形質に対する相対的重み付けの変化を示した。NTP₂₀₁₅ は在群能力の重みが 0%の場合に相当する。また、耐久性成分全体の重みを 1.8 から 4.3 に上げているが、それに従い肢蹄と乳房成分の各重みをそれぞれ 35 から 15 および 65 から 27 に下げること肢蹄と乳房成分の相対的重みを 6.3%と 11.7%に固定した。したがって、耐久性成分の中で相対的重みが上昇しているのは在群能力のみであり、5%ごとに 0%から 25%まで相対的重みを上げ、年当たりの予測改良量を調査した。

(3) NTP の信頼度の推定

NTP の信頼度は、NTP の真の遺伝分散に対する NTP の予測遺伝分散の割合と定義され、それは以下の行列計算によって求めることができる。

$$REL_{NTP} = \mathbf{r}'\mathbf{G}\mathbf{r}/\mathbf{v}'\mathbf{G}\mathbf{v}$$

ここで、 REL_{NTP} は NTP の信頼度、 \mathbf{G} は NTP に含まれる 15 形質間の遺伝相関行列、 \mathbf{r} は各形質における相対的重み付けと信頼度の平方根の積のベクトル、 \mathbf{v} は各形質における相対的重み付けのベクトルである。

表 20-5 には在群能力の重みを増やす一方、産乳成分の重みを減らした場合の 15 形質の相対的重み (\mathbf{v}) を示した。本分析では乳脂量、乳タンパク質量および在群能力の 3 形質の相対的重みのみを変化させた。乳房成分は乳房に関する 8 形質による指数であるが、乳房成分を構成する 8 形質間の遺伝相関を推定していないことから、2015 年生れの雌牛における乳房成分の標準偏差 0.236 に対し、各乳房形質の標準偏差を除算することで各乳房形質の相対的重みを調整した。

表20-5. 在群能力の重みを増やす一方、産乳成分の重みを減らした場合の各形質に対する相対的重み

形 質	産乳成分：在群能力					
	70:0	65:5	60:10	55:15	50:20	45:25
乳脂量	.266	.247	.228	.209	.190	.171
乳タンパク質量	.434	.403	.372	.341	.310	.279
肢蹄	.063	.063	.063	.063	.063	.063
乳器	.028	.028	.028	.028	.028	.028
前乳房の付着	.013	.013	.013	.013	.013	.013
後乳房の高さ	.006	.006	.006	.006	.006	.006
乳房の懸垂	.006	.006	.006	.006	.006	.006
乳房の深さ	.028	.028	.028	.028	.028	.028
前乳頭の配置	.007	.007	.007	.007	.007	.007
前乳頭の長さ	-.011	-.011	-.011	-.011	-.011	-.011
後乳頭の配置	-.018	-.018	-.018	-.018	-.018	-.018
空胎日数	-.060	-.060	-.060	-.060	-.060	-.060
体細胞スコア	-.040	-.040	-.040	-.040	-.040	-.040
在群能力	.000	.050	.100	.150	.200	.250
泌乳持続性	.020	.020	.020	.020	.020	.020

3. 分析結果

(1) 予測改良量と実現改良量の比較

表 20-6 には現在の産乳成分、耐久性成分、疾病繁殖成分、在群能力および NTP₂₀₁₅ を各々使用し選抜した時の各形質の年当たり改良量の予測値（予測改良量）並びに実現改良量を示した。実現改良量は 2009 年から 2018 年生れの雌牛集団から誕生年に対する各形質の EBV の傾き（一次回帰係数）として NLBC が発表した推定値である（国内評価概要，2021-8 月）。なお、2021-8 月時点で歩様、乳房の傾斜、在群期間 84、生産期間 84 および在群能力の実現改良量は公表されていない。

NTP₂₀₁₅ を使用して選抜した時の乳量、乳脂量および乳タンパク質量の予測改良量はそれぞれ 114.2kg、5.2kg および 4.0kg であるが、実現改良量は予測値よりも低く抑えられそれぞれ 58.9kg、2.8kg および 2.4kg であった。体型得点と体型 4 区分における予測改良量は 0.036(肢蹄)から 0.087(乳用強健性)の範囲、実現改良量は 0.030(肢蹄)から 0.099(乳器)の範囲にあり、乳器と決定得点は予測改良量よりも高く推定された。空胎日数の増加量は予測改良量の 0.93 日であったが、それと比較して実現改良量は 0.10 日と上昇量が低いことから、現実的には予測よりも繁殖成績の低下が抑制されていることが判明した。わが国のホルスタイン集団は NTP の重み以上の選抜が乳房形質や繁殖性に対し加えられていることが示唆された。

予測改良量と実現改良量において改良方向が異なる形質としては尻の角度(0.005 と-0.007)、後肢側望(0.001 と-0.002)、後肢後望(0.007 と-0.003)および乳房の深さ(-0.012 と 0.083)であった。乳房の深さの予測改良量はマイナスの方向を示しているが、実現改良量はプラスの望ましい方向に改良していることが判明した。

表20-6. 現在の産乳成分、体型成分、疾病繁殖成分、在群能力およびNTPを各々使用して選抜した時の各形質の年当たり予測改良量並びに実現改良量

形質	予測改良量					実現改良量
	産乳成分	耐久性成分	疾病繁殖成分	在群能力	NTP 2015	2009-18
乳量	128.3	-29.7	-50.6	-34.5	114.2	58.9
乳脂量	5.6	-0.8	-2.0	-0.9	5.2	2.8
無脂固形分量	11.4	-1.9	-3.7	-2.4	10.5	5.7
乳タンパク質量	4.3	-0.5	-1.3	-0.7	4.0	2.4
乳脂率	0.004	0.003	0.000	0.005	0.005	0.004
無脂固形分率	0.000	0.008	0.009	0.008	0.003	0.006
乳タンパク質率	0.002	0.005	0.003	0.004	0.004	0.005
体貌と骨格	0.022	0.094	-0.012	-0.020	0.048	0.048
肢蹄	-0.001	0.112	0.027	0.039	0.036	0.030
乳用強健性	0.082	0.059	-0.083	-0.089	0.087	0.040
乳器	-0.002	0.196	0.030	0.058	0.060	0.099
決定得点	0.015	0.158	0.006	0.020	0.063	0.077
高さ	0.013	0.089	-0.013	-0.034	0.037	0.071
胸の幅	0.010	0.022	-0.009	-0.023	0.015	0.015
体の深さ	0.024	0.011	-0.027	-0.039	0.023	0.007
鋭角性	0.041	0.015	-0.043	-0.041	0.039	0.016
尻の角度	0.003	0.005	0.001	0.010	0.005	-0.007
坐骨幅	0.016	0.023	-0.020	-0.035	0.020	0.035
後肢側望	0.012	-0.029	-0.014	-0.017	0.001	-0.002
後肢後望	-0.004	0.031	0.007	0.011	0.007	-0.003
蹄の角度	0.002	0.014	0.002	-0.003	0.006	0.007
歩様	-0.003	0.047	0.020	0.017	0.014	-
前乳房の付着	-0.021	0.090	0.024	0.030	0.009	0.043
後乳房の高さ	0.007	0.074	-0.003	0.006	0.029	0.049
後乳房の幅	0.040	0.003	-0.027	-0.027	0.037	0.017
乳房の懸垂	0.005	0.003	-0.008	-0.006	0.004	0.003
乳房の深さ	-0.058	0.136	0.043	0.046	-0.012	0.083
前乳頭の配置	-0.001	0.024	-0.002	-0.001	0.006	0.024
前乳頭の長さ	-0.004	-0.015	0.000	-0.014	-0.008	-0.010
後乳頭の配置	0.009	-0.002	-0.010	-0.012	0.006	0.011
乳房の傾斜	-0.013	0.031	0.000	0.008	-0.004	-
BCS	-0.033	0.009	0.047	0.037	-0.023	-0.009
空胎日数	1.77	-0.74	-3.86	-3.30	0.93	0.10
初産初回受胎率	-0.688	0.243	1.475	1.305	-0.379	-0.24
体細胞スコア	0.006	-0.019	-0.073	-0.047	-0.012	-0.006
在群期間84	-0.091	0.547	0.922	1.491	0.225	-
生産期間84	-0.033	0.438	0.366	1.236	0.157	-
在群能力	-0.003	0.006	0.015	0.020	0.001	-
泌乳持続性	-0.018	0.046	0.115	0.019	0.015	0.066

表20-7. NTPを構成する在群能力の重みを増やす一方、産乳成分の重みを減らした場合の各形質に対する年当たりの予測改良量の変化(現在のNTPは在群能力の重みが0%の場合に相当)

形質	産乳成分：在群能力					
	70:0	65:5	60:10	55:15	50:20	45:25
乳量	114.2	107.1	97.4	85.1	70.6	55.0
乳脂量	5.2	5.0	4.6	4.2	3.6	3.0
無脂固形分量	10.5	9.9	9.2	8.2	7.0	5.6
乳タンパク質量	4.0	3.8	3.6	3.2	2.8	2.3
乳脂率	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006
無脂固形分率	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008
乳タン白質率	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.006
体貌と骨格	0.048	0.047	0.045	0.042	0.038	0.033
肢蹄	0.036	0.042	0.048	0.054	0.058	0.061
乳用強健性	0.087	0.076	0.063	0.047	0.031	0.014
乳器	0.060	0.069	0.079	0.087	0.094	0.098
決定得点	0.063	0.067	0.071	0.074	0.075	0.074
高さ	0.037	0.034	0.031	0.027	0.022	0.017
胸の幅	0.015	0.012	0.009	0.006	0.003	-0.001
体の深さ	0.023	0.018	0.013	0.007	0.000	-0.006
鋭角性	0.039	0.033	0.027	0.020	0.012	0.004
尻の角度	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010
坐骨幅	0.020	0.016	0.012	0.007	0.001	-0.004
後肢側望	0.001	-0.002	-0.005	-0.008	-0.010	-0.013
後肢後望	0.007	0.008	0.010	0.012	0.014	0.015
蹄の角度	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004
歩様	0.014	0.017	0.019	0.022	0.024	0.026
前乳房の付着	0.009	0.014	0.020	0.025	0.030	0.035
後乳房の高さ	0.029	0.030	0.032	0.032	0.032	0.032
後乳房の幅	0.037	0.033	0.028	0.023	0.016	0.010
乳房の懸垂	0.004	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000
乳房の深さ	-0.012	-0.004	0.006	0.016	0.026	0.035
前乳頭の配置	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
前乳頭の長さ	-0.008	-0.010	-0.011	-0.013	-0.014	-0.015
後乳頭の配置	0.006	0.005	0.003	0.001	-0.001	-0.003
乳房の傾斜	-0.004	-0.002	-0.001	0.001	0.003	0.005
BCS	-0.023	-0.018	-0.012	-0.006	0.001	0.008
空胎日数	0.93	0.49	0.01	-0.51	-1.03	-1.51
初産初回受胎率	-0.379	-0.210	-0.019	0.184	0.388	0.579
体細胞スコア	-0.012	-0.018	-0.025	-0.031	-0.037	-0.041
在群期間84	0.225	0.403	0.592	0.781	0.956	1.107
生産期間84	0.157	0.300	0.451	0.603	0.745	0.868
在群能力	0.001	0.004	0.006	0.009	0.011	0.013
泌乳持続性	0.015	0.019	0.023	0.027	0.031	0.034

(2) 在群能力を含めた場合の予測改良量の検討

表 20-7 には NTP を構成する在群能力の重みを増やす一方、産乳成分の重みを減らした場合の各形質に対する年当たりの予測改良量の変化を示した。NTP の産乳成分と在群能力の相対的重みを 60 : 10 にすると、乳量の予測改良量は NTP₂₀₁₅ で選抜した時の予測改良量と比較し年当たり 16.8kg 減少するが、在群能力の予測改良量は 0.002 から 0.006 に上昇した。なお、在群能力の改良量では改良量の実感できない。そこで、在群期間 84 で置き換えた場合、NTP₂₀₁₅ を選抜するよりも年当たり 0.37 カ月(=0.592-0.225)、生産期間 84 では 0.29 カ月(=0.451-0.157)の延長が予測された。また、在群能力の相対的重みを増やすことで繁殖性の低下が抑制され、相対的重みが 60 : 10 の場合に空胎日数の改良量は 0.01 日になり、繁殖性の低下が顕著に進まないことが期待された。

さらに、肢蹄に關係する形質では肢蹄(得率)と歩様の改良量がそれぞれ 0.036 から 0.048 および 0.014 から 0.019 に上昇した。生産寿命の延長と遺伝的關係のある乳器、前乳房の付着、後乳房の高さおよび乳房の深さの予測改良量が上昇した。後乳頭の配置は実現改良量において乳頭の内付き傾向が顕著に見られるが、産乳成分と在群能力の相対的重みを 60 : 10 に変更しても外付き方向(負の方向)への改良が期待できなかった。なお、後乳頭の配置の改良方向が負に転じるのは在群能力の相対的重みを 20 以上にした場合である。高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅のような体のサイズおよび体積に關連する形質の予測改良量は、在群能力の相対的重みの増加に伴い減少し大型化への改良スピードが鈍化する傾向が認められたが、大型化を止めることまでは期待できないと推察された。

産乳成分の相対的重みをさらに小さくし 50 : 20 にすると、空胎日数の予測改良量は年当たり 1 日以上短縮(-1.03 日)する可能性があり、乳量および乳成分量の予測改良量は減少するが表 20-6 で示した実現改良量をまだ上回っている。2020 (令和 2) 年 3 月に発表された家畜改良増殖目標においてホルスタイン雌牛の能力に關する育種価の目標値は 58.6kg/年(乳量)、2.4kg/年(乳脂量)、5.7kg/年(無脂固形分量)および 2.5kg(乳タンパク質量)であり、上述した 50 : 20 の重み付けでも予測改良量は家畜改良増殖目標をまだ上回っている。それゆえ、本分析で設定した 50 : 20 の相対的重みで選抜すれば、育種価の目標値をおおよそクリアできると考えられるが、これはあくまで予測値であり、最悪 泌乳能力の実現改良量が現状より低下する危険もあり、産乳成分の相対的重みを大幅に低下させることは注意しなければならない。

通常は酪農家が長く牛群に残したい個体ほど在群能力が高いと考えられるが、その理由は酪農家によって異なる。淘汰基準としては泌乳能力であったり、優れた体型、機能的体型または繁殖成績が良い牛など酪農家の考え方や飼養形態により様々であり、このことが生産寿命に關連する形質の遺伝率が低い一因と考えられている。各国の総合指数には生産寿命に關連する形質が含まれているが、相対的重み付けが大きくなると遺伝率が低いため選抜の正確度の低下が懸念されること、さらに生産寿命に關連する形質の利用方法としては機能性や疾病・繁殖性の形質とともに、それ以外の理由で生産寿命の延長が期待できる要素も取り込むことを目的にしているので、総合指数内の生産寿命に対する相対的重みはあまり大きくすべきではない。例えば、米国の TPI には PL(生産期間)5%と LIV(生存能力)3%が含まれ相対的な重みは合計で 8%、カナダの LPI には HL(在群期間)が 8%含まれている。本事業では疾病形質の遺伝評価法を研究開発し、将来的には NTP の疾病繁殖成分の相対的重みを増やすことも考えているので、今回の NTP の見直しに当たっては在群能力の相対的重みを 10%以内に留めることが妥当と考えられる(付表 20-1 を参照のこと)。

(3) NTP の信頼度の検討

表 20-8 には本分析で NTP の信頼度を検討するために使用した雄牛と雌牛の各形質における信頼度を示した。雄牛における各形質の EBV の信頼度は 2021-8 月評価で公表された供用可能種雄牛 69 頭の平均値である。雌牛の信頼度は 2021-8 月評価で公表された 2015 年生れの集団の平均値である。雄牛における乳脂量と乳タンパク質量の平均信頼度は 89.9%と 87.6%であり、在群能力の平均信頼度は 69.0%である。同様に雌牛の平均信頼度は乳脂量と乳タンパク質量において 61.3%と 59.5%、在群能力の平均信頼度は 37.0%であり、在群能力の信頼度は泌乳能力よりも低い傾向にある。

表 20-9 には NTP を構成する産乳成分と在群能力の割合を変化させた場合の NTP の信頼度(REL%)と選抜の正確度を示した。NTP₂₀₁₅ の信頼度は産乳成分と在群能力の重み割合が 70:0 に相当するが、雄牛において 88.5%および雌牛において 60.4%であった。さらに、産乳成分の相対的重みを 45%まで減少させる一方、在群能力に対する相対的重みを 25%まで増やすと、NTP の信頼度は雄牛で 80.8%および雌牛で 51.1%に減少した。

現在の NTP は産乳成分が相対的重み付けで 70%を占めることから、NTP で種雄牛を選抜する場合は乳量など泌乳形質の信頼度を参考にすることができた。今回の NTP の見直しでは産乳成分の相対的重みを 60%に減らし在群能力の相対的重みを 10%にした場合は選抜の正確度に影響を及ぼすほど NTP の信頼度が顕著に低下しなかった。しかし、今後の NTP の見直しに関しては産乳能力の相対的重みを減らし、耐久性や疾病繁殖の各成分の重みを増やす方針で検討している。このことは泌乳能力と比較して信頼度の低い形質の相対的重みを増やすことを示唆していることから、今後更なる NTP の見直しに当たり NTP の信頼度低下が懸念される。それゆえ、信頼度を併記した NTP の発表方法を検討する必要があると推察された。(2021/12/13 一般社団法人日本ホルスタイン登録協会の再調査による結果)

表20-8. 分析に使用した雄牛と雌牛の各形質における信頼度(REL%)

形 質	平均信頼度(REL%)	
	雄 牛	雌 牛
乳脂量	89.9	61.3
乳タンパク質量	87.6	59.5
肢蹄	68.6	38.6
乳器	78.2	45.8
前乳房の付着	80.2	48.2
後乳房の高さ	81.4	48.5
乳房の懸垂	77.5	45.1
乳房の深さ	88.6	61.1
前乳頭の配置	87.4	58.2
前乳頭の長さ	87.3	58.2
後乳頭の配置	85.1	54.2
空胎日数	67.9	35.9
体細胞スコア	72.3	38.4
在群能力	69.0	37.0
泌乳持続性	83.6	55.8

雄牛:供用可能種雄牛69頭(2021-8月評価)

雌牛:2015年生れの集団(2021-8月評価)

表20-9. NTPを構成する産乳成分と在群能力の割合を変化させた場合のNTPの信頼度(REL%)

割合	雄 牛		雌 牛	
	REL%	選抜の正確度	REL%	選抜の正確度
70 : 0	88.5	0.94	60.4	0.78
65 : 5	88.1	0.94	59.8	0.77
60 : 10	87.1	0.93	58.7	0.77
55 : 15	85.6	0.93	56.9	0.75
50 : 20	83.4	0.91	54.3	0.74
45 : 25	80.8	0.90	51.1	0.72

付表20-1. NTPを構成する在群能力の重みを増やす一方、産乳成分の重みを減らした場合の各形質に対する年当たりの予測改良量の変化(現在のNTPは在群能力の重みが0%の場合に相当)

形 質	産乳成分：在群能力						
	70:0	64:6	63:7	62:8	61:9	60:10	59:11
乳量	114.2	105.4	103.6	101.6	99.6	97.4	95.2
乳脂量	5.2	4.9	4.8	4.8	4.7	4.6	4.5
無脂固形分量	10.5	9.8	9.6	9.5	9.3	9.2	9.0
乳タン白質量	4.0	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5
乳脂率	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006
無脂固形分率	0.003	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006
乳タン白質率	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005
体貌と骨格	0.048	0.046	0.046	0.046	0.045	0.045	0.044
肢蹄	0.036	0.044	0.045	0.046	0.047	0.048	0.050
乳用強健性	0.087	0.073	0.071	0.068	0.066	0.063	0.060
乳器	0.060	0.071	0.073	0.075	0.077	0.079	0.081
決定得点	0.063	0.068	0.069	0.070	0.070	0.071	0.072
高さ	0.037	0.034	0.033	0.033	0.032	0.031	0.030
胸の幅	0.015	0.012	0.011	0.011	0.010	0.009	0.009
体の深さ	0.023	0.017	0.016	0.015	0.014	0.013	0.012
鋭角性	0.039	0.032	0.031	0.030	0.028	0.027	0.026
尻の角度	0.005	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
坐骨幅	0.020	0.015	0.015	0.014	0.013	0.012	0.011
後肢側望	0.001	-0.002	-0.003	-0.003	-0.004	-0.005	-0.005
後肢後望	0.007	0.009	0.009	0.009	0.010	0.010	0.011
蹄の角度	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
歩様	0.014	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.020
前乳房の付着	0.009	0.015	0.016	0.017	0.018	0.020	0.021
後乳房の高さ	0.029	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032	0.032
後乳房の幅	0.037	0.032	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027
乳房の懸垂	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
乳房の深さ	-0.012	-0.002	0.000	0.002	0.004	0.006	0.008
前乳頭の配置	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
前乳頭の長さ	-0.008	-0.010	-0.010	-0.011	-0.011	-0.011	-0.012
後乳頭の配置	0.006	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
乳房の傾斜	-0.004	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	0.000
BCS	-0.023	-0.017	-0.016	-0.015	-0.013	-0.012	-0.011
空胎日数	0.93	0.40	0.31	0.21	0.11	0.01	-0.09
初回授精受胎率	-0.379	-0.173	-0.136	-0.098	-0.059	-0.019	0.021
体細胞スコア	-0.012	-0.019	-0.021	-0.022	-0.023	-0.025	-0.026
在群期間84	0.225	0.440	0.478	0.516	0.554	0.592	0.630
生産期間84	0.157	0.329	0.359	0.390	0.420	0.451	0.482
在群能力	0.001	0.004	0.005	0.005	0.006	0.006	0.007
泌乳持続性	0.015	0.020	0.021	0.022	0.022	0.023	0.024

付表20-2, 旧パラメータと新パラメータにより推定された各形質の年当たり予測改良量および2008から2017年と2009から2018年の各10年間における実現改良量 (2021/01/29の調査結果との比較)

形質	旧パラメータ		新パラメータ		実現改良量	
	NTP ₂₀₁₅	NTP _{60:10}	NTP ₂₀₁₅	NTP _{60:10}	2008-17	2009-18
乳量	94.8	81.4	114.2	97.4	59.5	58.9
乳脂量	4.0	3.5	5.2	4.6	2.5	2.8
無脂固形分量	8.5	7.5	10.5	9.2	5.5	5.7
乳タン白質量	3.2	2.9	4.0	3.6	2.2	2.4
乳脂率	0.001	0.002	0.005	0.005	0.002	0.004
無脂固形分率	0.001	0.002	0.003	0.005	0.002	0.006
乳タン白質率	0.003	0.003	0.004	0.005	0.003	0.005
体貌と骨格	0.005	0.007	0.048	0.045	0.056	0.048
肢蹄	0.009	0.021	0.036	0.048	0.033	0.030
乳用強健性	0.049	0.033	0.087	0.063	0.044	0.040
乳器	0.065	0.080	0.060	0.079	0.102	0.099
決定得点	0.036	0.044	0.063	0.071	0.080	0.077
高さ	0.031	0.027	0.037	0.031	0.073	0.071
胸の幅	0.012	0.008	0.015	0.009	0.017	0.015
体の深さ	0.015	0.008	0.023	0.013	0.010	0.007
鋭角性	0.035	0.026	0.039	0.027	0.018	0.016
尻の角度	0.008	0.010	0.005	0.007	-0.001	-0.007
坐骨幅	0.017	0.011	0.020	0.012	0.036	0.035
後肢側望	0.001	-0.004	0.001	-0.005	-0.003	-0.002
後肢後望	0.013	0.016	0.007	0.010	-0.002	-0.003
蹄の角度	0.002	0.001	0.006	0.006	0.005	0.007
歩様	-	-	0.014	0.019	-	-
前乳房の付着	0.016	0.025	0.009	0.020	0.042	0.043
後乳房の高さ	0.037	0.039	0.029	0.032	0.050	0.049
後乳房の幅	0.033	0.027	0.037	0.028	0.020	0.017
乳房の懸垂	0.008	0.007	0.004	0.003	0.004	0.003
乳房の深さ	-0.001	0.015	-0.012	0.006	0.079	0.083
前乳頭の配置	0.007	0.007	0.006	0.006	0.025	0.024
前乳頭の長さ	-0.009	-0.011	-0.008	-0.011	-0.013	-0.010
後乳頭の配置	-0.005	-0.007	0.006	0.003	0.013	0.011
乳房の傾斜	-	-	-0.004	-0.001	-	-
BCS	-0.027	-0.018	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
空胎日数	1.47	0.69	0.927	0.009	0.260	0.100
初回授精受胎率	-	-	-0.379	-0.019	-0.270	-0.240
体細胞スコア	-0.007	-0.018	-0.012	-0.025	-0.004	-0.006
在群期間84	0.081	0.330	0.225	0.592	-	-
生産期間84	-	-	0.157	0.451	-	-
在群能力	0.003	0.017	0.001	0.006	-	-
泌乳持続性	0.011	0.019	0.015	0.023	0.066	0.066

NTP₂₀₁₅：現在のNTP、NTP_{60:10}：泌乳能力と在群能力を60:10の割合にした時のNTP

第21章 耐病性成分の開発

1. はじめに

耐病性は生産性の向上と生産寿命の延長に影響を与える。本事業は全国の農業共済組合、5団体の全面的な協力により疾病に関する記録の提供を受け、耐病性に関する育種価の推定方法と耐病性を改良するための選抜指数の開発を行った。本研究では分析の結果、経済的に重要であり出現頻度が比較的高くかつ選抜反応がある程度期待できる疾病8形質を選定し、耐病性指数(耐病性成分)を開発した。

2. 分析に利用した遺伝相関

耐病性成分を開発するに当たり本分析では第四胃変位、子宮内膜炎、乳房炎、乳熱、胎盤停滞、産褥熱、ケトーシスおよび肢蹄病の8形質を選定した。分析に使用した8形質の遺伝分散と遺伝相関は、初産牛から推定したものを使用した。各耐病性形質の記録は罹患しなければ1、罹患した場合は0が与えられた。それゆえ、各疾病に対し遺伝的に抵抗性がある個体は育種価がより高くなるように設定した。なお、肢蹄に関する疾患は各疾患に分けると出現頻度が非常に小さくなることから、肢蹄病という枠の中で包括的な疾患として処理した。

表21-1には初産における耐病性形質と生産寿命の形質、合計11形質に関する遺伝相関を示した。生産寿命との間に中程度の遺伝相関を観測した耐病性形質は、乳房炎(0.624から0.653)、ケトーシス(0.528から0.575)、肢蹄病(0.528から0.606)および子宮内膜炎(0.442から0.470)であった。低い遺伝相関を示した耐病性形質は第四胃変異(0.246から0.296)、胎盤停滞(0.170から0.215)および産褥熱(0.272から0.395)であった。乳熱は真の在群期間84および真の生産期間84との間で無相関(それぞれ0.021と0.063)であったが、在群能力との間には低い正の相関(0.276)が観測された。

また、耐病性形質間の関係として、第四胃変位とケトーシス(0.729)、子宮内膜炎とケトーシス(0.649)、乳熱と産褥熱(0.635)および胎盤停滞と産褥熱(0.532)の間にそれぞれ高いから中程度の遺伝相関が観測され、それぞれの形質間の遺伝的関連性が示唆された。

表21-1. 初産における耐病性と生産寿命の11形質に関する遺伝相関

形質	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 第四胃変位	1.000	0.354	0.093	0.404	-0.023	0.347	0.729	0.161	0.246	0.264	0.296
2 子宮内膜炎	0.354	1.000	0.294	0.295	0.361	0.453	0.649	0.295	0.442	0.463	0.470
3 乳房炎	0.093	0.294	1.000	-0.183	0.000	-0.070	0.298	0.270	0.651	0.653	0.624
4 乳熱	0.404	0.295	-0.183	1.000	0.259	0.532	0.300	0.212	0.021	0.063	0.276
5 胎盤停滞	-0.023	0.361	0.000	0.259	1.000	0.635	0.023	0.231	0.172	0.170	0.215
6 産褥熱	0.347	0.453	-0.070	0.532	0.635	1.000	0.406	0.187	0.272	0.272	0.395
7 ケトーシス	0.729	0.649	0.298	0.300	0.023	0.406	1.000	0.149	0.575	0.587	0.528
8 肢蹄病	0.161	0.295	0.270	0.212	0.231	0.187	0.149	1.000	0.542	0.528	0.606
9 真の在群期間84	0.246	0.442	0.651	0.021	0.172	0.272	0.575	0.542	1.000	0.996	0.975
10 真の生産期間84	0.264	0.463	0.653	0.063	0.170	0.272	0.587	0.528	0.996	1.000	0.970
11 在群能力	0.296	0.470	0.624	0.276	0.215	0.395	0.528	0.606	0.975	0.970	1.000

3. 耐病性成分の試作

ここでは、2種類の耐病性成分を作成し、実用化に適したものを検討した。表21-2には生産寿命に関する3形質(THL84、TPL84 および在群能力)との遺伝相関から各耐病性形質に対する重みを求め、これを試作1とした。生産寿命と比較的遺伝相関が顕著に見られた耐病性形質として、乳房炎(0.624 から0.653)、ケトーシス(0.528 から0.587)および肢蹄病(0.528 から0.606)であり、中程度の正の遺伝相関が観測された。子宮内膜炎と生産寿命との間には0.442 から0.470の範囲で正の遺伝相関が観測された。

表21-2. 生産寿命に関する3形質との遺伝相関から推定した各耐病性形質に対する重み(試作1)

形質	真の在群 期間84	真の生産 期間84	在群能力	相関の 平均	重み付け
第四胃変位	0.246	0.264	0.296	0.269	0.08
子宮内膜炎	0.442	0.463	0.470	0.458	0.15
乳房炎	0.651	0.653	0.624	0.643	0.21
乳熱	0.021	0.063	0.276	0.120	0.04
胎盤停滞	0.172	0.170	0.215	0.186	0.06
産褥熱	0.272	0.272	0.395	0.313	0.10
ケトーシス	0.575	0.587	0.528	0.563	0.18
肢蹄病	0.542	0.528	0.606	0.559	0.18

表21-3. 主成分分析によって得られた第1から第5成分の固有値と各形質に対応する固有ベクトル(試作2)

主成分	第1	第2	第3	第4	第5
固有値	4.967	2.094	1.381	0.852	0.553
寄与率(%)	45.15	19.04	12.56	7.75	5.02
固有ベクトル					
第四胃変位	0.224	0.267	0.538	0.144	0.016
子宮内膜炎	0.308	0.190	0.049	-0.391	0.663
乳房炎	0.259	-0.408	0.018	-0.230	-0.007
乳熱	0.153	0.483	0.023	0.457	-0.153
胎盤停滞	0.150	0.318	-0.583	-0.325	0.022
産褥熱	0.239	0.465	-0.217	-0.153	-0.342
ケトーシス	0.332	0.138	0.469	-0.203	0.029
肢蹄病	0.264	-0.083	-0.291	0.606	0.537
THL84	0.404	-0.259	-0.059	0.001	-0.194
TPL84	0.407	-0.244	-0.042	0.004	-0.191
在群能力	0.420	-0.154	-0.102	0.164	-0.237

第四胃変位、産褥熱および胎盤停滞は、生産寿命との間にそれぞれ0.246から0.296、0.272から0.395および0.170から0.215の範囲で低い正の遺伝相関が推定された。乳熱と生産寿命との間には0.021から0.276の範囲で無相関から低い正の遺伝相関が推定された。遺伝相関が大きいほど生産寿命との関連が顕著な形質であると考えられることから、合計で1になるように重みを作成し試作1とした。ここで、試作1は以下の式で表すことができる。

$$\text{試作1} = 0.08 \times SBV_{DA} + 0.15 \times SBV_{METR} + 0.21 \times SBV_{MAST} + 0.04 \times SBV_{MFEV} + 0.06 \times SBV_{REPL} \\ + 0.10 \times SBV_{PFEV} + 0.18 \times SBV_{KETO} + 0.18 \times SBV_{FLD}$$

ここで、*DA* は第四胃変位(displaced abomasum)、*METR* は子宮内膜炎(metritis)、*MAST* は臨床性乳房炎(clinical mastitis)、*MFEV*は乳熱(milk fever)、*REPL*は胎盤停滞(retained placenta)、*PFEV*は産褥熱(puerperal fever)、*KETO*はケトーシス(ketosis)および*FLD*は肢蹄病(feet & legs disease)である。*SBV*は標準化育種価のことである。

次に、表21-1に示した遺伝相関を利用し、主成分分析を行い寄与率の高い固有値と固有ベクトルを表21-3に示した。第1主成分は寄与率が45.15%、第2主成分は19.04%であり、第2主成分までで累積寄与率64.19%の情報量を説明できた。第1主成分は耐病性形質の遺伝的値が高いほど生産寿命の延長が遺伝的に期待できることを示唆している。第2主成分では乳房炎と肢蹄病の耐性が低下すると生産寿命の短縮が生じることを示唆している。本分析では第1主成分の耐病性形質に関する固有ベクトルを使用して、指数の重みを求め、それを試作2とした。

$$\text{試作2} = 0.12 \times SBV_{DA} + 0.16 \times SBV_{METR} + 0.13 \times SBV_{MAST} + 0.08 \times SBV_{MFEV} + 0.08 \times SBV_{REPL} \\ + 0.12 \times SBV_{PFEV} + 0.17 \times SBV_{KETO} + 0.14 \times SBV_{FLD}$$

表21-4には、耐病性成分に関する2種類の重み配分と疾病の出現頻度および米国の耐病指数(HTHS)を示した。試作1は乳房炎の重みが最も大きく0.21、次にケトーシスと肢蹄病のそれぞれ0.18および子宮内膜炎の0.15が続いた。一方、試作2の重み付けはケトーシスの0.17が最も大きく、子宮内膜炎の0.16、肢蹄病の0.14、乳房炎の0.13、さらに第四胃変位と産褥熱の0.12の順であった。乳房炎の出現頻度は26.7%であり、次の肢蹄病の5.7%と比較して非常に高い出現頻度を記録した。

表21-4. 耐病性指数に関する2種類の重み配分と疾病の出現頻度および米国HTHS

形質	試作1	試作2	疾病の出現頻度%	米国HTHS(参考)
第四胃変位	0.08	0.12	2.8	0.23
子宮内膜炎	0.15	0.16	1.5	0.26
乳房炎	0.21	0.13	26.7	0.33
乳熱	0.04	0.08	0.3	0.02
胎盤停滞	0.06	0.08	0.7	0.10
産褥熱	0.10	0.12	3.5	
ケトーシス	0.18	0.17	2.5	0.05
肢蹄病	0.18	0.14	5.7	

試作1：耐病形質と生産寿命の遺伝相関を利用

試作2：第1主成分を利用

表21-5. 2種類の耐病性成分を使用して選抜した時の耐病性8形質の選抜反応量とその他11形質の間接反応量

形質	試作1	試作2
選抜反応量		
第四位変異	0.158	0.257
子宮内膜炎	0.085	0.095
乳房炎	1.116	0.671
乳熱	0.006	0.012
胎盤停滞	0.021	0.030
産褥熱	0.117	0.152
ケトーシス	0.169	0.167
肢蹄病	0.298	0.243
間接反応量		
乳量	-124	-123
乳脂量	-2.26	-2.36
乳タンパク質量	-2.25	-2.30
乳脂率	0.028	0.026
乳タンパク質率	0.016	0.015
体貌と骨格	-0.116	-0.127
肢蹄	0.017	0.002
乳用強健性	-0.208	-0.221
乳器	-0.010	-0.042
決定得点	-0.054	-0.076
高さ	-0.098	-0.114
胸の幅	-0.052	-0.058
体の深さ	-0.088	-0.095
鋭角性	-0.098	-0.102
坐骨幅	-0.043	-0.045
尻の角度	-0.012	-0.007
後肢側望	-0.015	-0.009
後肢後望	-0.023	-0.030
蹄の角度	-0.006	-0.007
歩様	0.021	0.019
乳房の付着	0.024	0.008
後乳房の高さ	-0.031	-0.036
後乳房の幅	-0.065	-0.062
乳房の懸垂	-0.044	-0.051
乳房の深さ	0.040	0.011
前乳頭の配置	-0.027	-0.029
前乳頭の長さ	-0.035	-0.044
後乳頭の配置	-0.010	-0.007
乳房の傾斜	-0.018	-0.028
ボディコンディション(BCS)	0.093	0.094
体細胞スコア(SCS)	-0.089	-0.073
空胎日数	2.071	2.448
初回授精受胎率	-0.645	-0.776
真の在群期間84(THL84)	2.032	1.888
真の生産期間84(TPL84)	1.719	1.611
在群能力	2.984	2.908

表 21-5 には試作した 2 種類の耐病性成分を使用して選抜した時の耐病性 8 形質の選抜反応量とその他の形質の間接反応量を示した。試作 1 で選抜した場合、乳房炎、ケトーシスおよび肢蹄病の耐性において試作 2 よりも大きな選抜反応量が得られたが、その他の耐病性形質は試作 2 の選抜反応量の方が大きかった。耐病性成分による選抜は、肢蹄以外の体型得点形質が負の方向に間接反応する傾向が認められた。高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅の間接反応から、耐病性は体の大きさが比較的小さい方が高かった。耐病性に対する選抜は乳器を負の方向へ間接反応させる傾向が見られたが、前乳房の付着と乳房の深さは正、前乳頭の長さとは後乳頭の配置は負方向に間接反応することから、これらの形質は望ましい方向に改良することが示唆された。耐病性に対する選抜は生産寿命が延長方向に間接反応し、特に試作 1 は試作 2 よりも生産寿命の改良に大きな影響が認められた。一方、空胎日数は耐病性の選抜に対して延長、受胎率は低下の方向に間接反応することから、繁殖性は耐病性の選抜に対して望ましい方向への改良が観測されなかった。繁殖性に対する望ましくない影響は試作 1 の方が軽微であった。

耐病性成分については、試作 1 と試作 2 において改良量に大きな差異がないと推測される。しかし、各疾病の出現頻度を考慮に入れるならば、乳房炎は他の形質と比較し頻度が高いことから、乳房炎に対する抵抗性を改良することは急務と考えられる。それゆえ、日本の乳牛集団の選抜には試作 1 を採用することが望ましいと推察された。

4. 考察およびまとめ

本分析では 8 種類の疾病形質を利用して育種価を推定し、さらに耐病性成分を作成するための研究を行った。結論として臨床性乳房炎の出現頻度を考慮すれば、耐病性成分は試作 1 の方が日本の乳牛集団の現状に適していると推察された。今後は耐病性成分の実用化に向けた研究開発が必要である。肢蹄疾患に關係する形質は非常に出現頻度が低かったことから肢蹄病の耐性として遺伝評価したが、それぞれ蹄底潰瘍、白帯病、趾皮膚炎など個別の病気に分けた場合に遺伝率が上昇する可能性があるため、さらなる調査が必要と考えている。また、乳熱と産褥麻痺は共に低カルシウム血症が原因の疾病であるが、発症時期や発症の原因で分けられているようだ。肢蹄病とは反対の考え方で、これら 2 つの疾病を低カルシウム血症としてまとめることで疾病の遺伝的特徴を把握することも検討する必要がある。

5. 耐病性成分の計算例

表 21-6 には、耐病性成分の計算例を示した。SBV は 2015 年生れの雌牛集団の EBV の平均値と標準偏差を使用して計算した。耐病性成分は試作 1 により計算し、この例では 0.543 となった。

表21-6. 耐病性成分の計算例 (*: $\times 10^2$)

	EBV*	EBV平均*	EBV SD*	SBV	重み	SBV×重み
第四胃変位	0.307	2.193	1.996	-0.945	0.08	-0.076
子宮内膜炎	0.057	-0.229	0.261	1.095	0.15	0.164
乳房炎	-3.089	-1.485	4.741	-0.338	0.21	-0.071
乳熱	-0.046	-0.105	0.063	0.936	0.04	0.037
胎盤停滞	0.124	-0.082	0.181	1.143	0.06	0.069
産褥熱	0.140	-0.542	0.765	0.892	0.1	0.089
ケトーシス	-0.126	-0.505	0.529	0.716	0.18	0.129
肢蹄病	0.689	-0.466	1.032	1.119	0.18	0.201
合計(耐病性成分)						0.543

第22章 生乳生産向上と生産寿命の延長を同時に考慮した長命連産効果の見直し

1. はじめに

長命連産効果は2011年3月にJRA事業「乳用牛国際競争力強化促進事業」において開発され、同年8月の種雄牛評価成績から公表された。長命連産効果は種雄牛の遺伝的価値を円の単位で表示し、種雄牛の経済価値を明らかにした。その後、10年以上が経過し、酪農を取り巻く情勢が大きく変化し、さらに耐病性等に関する育種価が推定できたことから、種雄牛の経済的および遺伝的価値を見直す時期がきた。本分析では生乳生産の更なる向上と生産寿命の延長を効率よく推進するために、各経済形質の遺伝的価値を再評価し、最新の経済性にに基づき長命連産効果の見直しを進めるための分析を実施した。

2. 各形質に対する経済的重み

(1) 長命連産効果(LP¥: Long Life Productive Yen)の基本構造

本事業で開発した新しい長命連産効果(LP¥)は、以下のような基本的構造になっている。

$$\begin{aligned} \text{LP¥} = & \text{Yield¥}(\text{乳生産の利潤}) + \text{DLO¥}(\text{蓄積された利潤}) - \text{Maint¥}(\text{飼養管理費}) \\ & + \text{Fert¥}(\text{繁殖性向上による利潤}) - \text{SCS¥}(\text{SCC低下による利潤}) \\ & + \text{Udder¥}(\text{乳房改良による利潤}) + \text{F\&L¥}(\text{肢蹄改良による利潤}) + \text{DResist¥}(\text{耐病性改善による利潤}) \end{aligned}$$

ここで、Yield¥は乳代から給与飼料費を差し引いた利潤である。ただし、日本の乳価は乳量に対する価値が高いことから、乳価に従い選抜すると間接反応により乳成分率が大きく低下する懸念がある。そのため、Yield¥は乳量に対する重みを削除し、乳脂量と無脂固形分量に対する重みのみにした。DLO¥は生産寿命の延長に伴い牛体に蓄積された利潤として推定した。Maint¥は体重の増加に伴うハウジングコストの上昇費用として推定した。Fert¥は繁殖性の向上により種付け回数を少なくし、種付け料の節減と分娩時期を早めて乳量増産による利潤を推定した。SCS¥は潜在的乳房炎に伴う乳量減産や代替牛の更新費等を考慮して推定した。Udder¥は乳房の改良による乳量増加による利潤を推定した。F&L¥は肢蹄の改良による繁殖性改善と乳量増加による利潤を推定した。DResist¥は疾病に罹患しなかった場合の獣医診療・医薬品費の削減額から推定した。

(2) 在群能力(BV_DLO×10²)に対する産次数の回帰式

在群能力の育種価から産次数を予測する式を求めた。この分析には除籍され生産寿命が確定した雌牛の記録が必要なことから、はじめに2015年以前に生れかつ除籍済みの雌牛2,366,439頭の最終産次数および在群能力の育種価を抽出した。なお、雌牛が72ヵ月齢を超えて牛群に在籍している場合は、72ヵ月齢の時点における産次数を最終産次数とした。分析では、在群能力の育種価(BV*_DLO)に対する産次数(Pa72)の一次回帰を行った。ここで、Pa72は最大72ヵ月齢で打ち切りした時の産次数である。BV_DLOは平均-0.016、標準偏差0.042であり、有効桁数が非常に小さいことから、BV_DLOを100倍した値、すなわちBV*_DLO=BV_DLO×10²として計算した。在群能力の育種価(BV*_DLO)に対する産次数(Pa72)の一次回帰分析の結果は以下のとおりであり、切片と傾きはそれぞれ3.0913および0.1215であった。

表 22-1. 在群能力の育種価(BV*_DLO)に対する産次数(Pa72)の一次回帰

切片	切片 SD	傾き	傾き SD
3.0913	0.7143×10^{-3}	0.1215	0.1592×10^{-1}

在群能力の育種価から、平均産次数は3産、それよりも±1ポイント BV*_DLO の変化に対し0.12産だけ産次が変化することとし、予測式[1]を以下のとおり設定した。

$$[\text{Pa72}] = b_1 + b_2 \times [\text{BV*}_\text{DLO}] = 3.0 + 0.12 \times [\text{BV*}_\text{DLO}] \quad \dots [1]$$

(3) 泌乳能力に対する重み

◎乳代効果(Yield¥)の計算式を変換する

乳代効果(Yield¥)は通常、乳量(milk)、乳脂率(fat%)および無脂固形分率(SNF%)から計算するが、付録22-1の方法により、乳量(milk)、乳脂量(fat)および無脂固形分量(SNF)を使用する計算式に変換した。

$$[\text{Yield¥}] = (a - 47.2) [\text{milk}] + 400 [\text{fat}] + 400 [\text{SNF}]$$

ここで、各形質に負荷された重みは、Fat%=3.5、SNF%=8.3に換算した場合の経済的重み(乳価)である。aは付録22-2の「搾乳牛通年換算1頭当たり牛乳生産費と生産概況」の最近5年間(2016~2020年)の平均を利用した。通年換算1頭当たり換算乳量(365日)の最近5年間の平均は9,241kgであり、その時の換算乳価は893,984円である。換算乳量1kg当たりの乳価は96.7円/kg (= 893,984円 / 9,241kg)、これをaに代入すると、乳量に対する重みは49.5円/kg (= 96.7円 - 47.2円)となる。1乳期(305日搾乳)当たりの乳量と乳成分の重みに換算すると乳代効果(Yield¥)は以下のとおりである。

$$[\text{Yield¥}] = 49.5 [\text{BV}_\text{milk}] + 400 [\text{BV}_\text{fat}] + 400 [\text{BV}_\text{SNF}]$$

◎給与飼料費を代謝エネルギーの要求量(ME)に従い配分

ここでは、給与飼料のうち代謝、成長および生産に利用した割合をエネルギー要求量に従い推定した。代謝(MEm)、成長(MEg)および生産(MEp)に利用したエネルギー要求量は以下の関係式で推定できる(日本飼養標準・乳牛、2017版)。

$$[\text{ME}] = [\text{MEm}] + [\text{MEg}] + [\text{MEp}]$$

各ステージの体重は、ホルスタイン種雌牛の推奨発育値を利用し、各ステージの体重を以下のとおり設定した(ホルスタイン種雌牛の推奨発育値, 2020年3月発行 付録22-6)。牛群検定の最近5年間の平均により、在籍牛の平均月齢を45ヵ月齢、初産分娩は平均24ヵ月齢および除籍月齢を68ヵ月齢3.3産と設定した(付録22-4)。その結果、各ステージの体重は、経産牛の45ヵ月齢の平均体重を718kg、生時体重を平均42kg、初産分娩時(24ヵ月齢)の平均体重を587kg、さらに除籍月齢(68ヵ月齢)の平均体重を773kgと設定し、これらを以下の表にまとめた。

表 22-2. 体重に関するパラメータの設定

体 重	平均値
経産牛平均月齢(45 ヲ月齡)の体重	718kg
生時体重(0 ヲ月齡)	42kg
分娩時(24 ヲ月齡 1 産分娩時)の体重	587kg
除籍時(68 ヲ月齡 3.3 産)の体重	774kg

初産分娩から除籍までの日当たり増体量(DG)は、以上の各ステージにおける体重から $0.14\text{kg/d} = (774\text{kg} - 587\text{kg}) / [(68\text{mo} - 24\text{mo}) \times 30.6001\text{d}]$ とした。また、平均乳脂率 3.5%、平均 SNF 率 8.3% および平均日乳量を $25.3\text{kg/d} (=9,241\text{kg} / 365\text{d})$ と仮定した。ここで、平均 SNF 率 8.3% は、乳タンパク質率 3.3%、乳糖率 4.5% およびミネラル 0.5% を合計したものとした。ME_m、ME_g および ME_p は以下のとおり計算した。

$$\text{ME}_m = 0.1163 \times W^{0.75} = 0.1163 \times 718^{0.75} = 16.1314 \text{Mcal/d}$$

$$\text{ME}_g = 0.1355 \times \text{DG} \times W^{0.75} = 0.1355 \times 0.14 \times 718^{0.25} = 2.6312 \text{Mcal/d}$$

$$\begin{aligned} \text{ME}_p &= (0.0869 \times \text{乳脂率} + 0.0516 \times \text{乳タンパク質率} + 0.0344 \times \text{乳糖率} + 0.0707) \times \text{平均日乳量} \\ &= (0.30415 + 0.17028 + 0.1548 + 0.0707) \times 25.3 = 17.708 \text{Mcal/d} \end{aligned}$$

ME は $36.4\text{Mcal/d} (=16.1 \text{Mcal/d} + 2.6 \text{Mcal/d} + 17.7 \text{Mcal/d})$ であるから、ME_m : ME_g : ME_p の割合はそれぞれ 44% : 7% : 49% となった。

◎ 給与飼料費を考慮した乳代効果(Yield*¥)

経産牛の通年換算 1 頭当たり飼料費は 403,081 円(2016 年から 2020 年の 5 年間の平均)とする(付録 22-3)。泌乳に必要な飼料費は年間 197,510 円(=403,081 円*0.49)である。通年換算 1 頭当たり換算乳量(365 日)は 9,241kg であるから、換算乳量 1kg 当たり生産に必要な飼料費は 21.4 円/kg(=197,510 円 / 9,241kg)となった。

乳脂率 3.5%・SNF 率 8.3% 基準の場合、ME_p におけるエネルギー配分は、乳脂量 : 乳タンパク質量 : 乳糖量 : 乳量 = 0.30415 : 0.17028 : 0.1548 : 0.0707 であるから、それらの割合は 43% : 24% : 22% : 11% となる。この割合で 1kg の泌乳に必要な飼料費 21.4 円/kg を配分すると、乳脂量 9.202 円(=21.4×0.43)、SNF 量 9.844 円(=21.4×(0.24+0.22)) および乳量 2.354 円(=21.4×0.11) である。乳脂量 1kg 当たりの飼料費は 263 円/kg(=9.202 円 / 0.035)、SNF 量 1kg 当たりの飼料費は 119 円/kg(=9.844 円 / 0.083) となる。飼料費を考慮した Yield*¥ は以下のとおりとなった。

$$\begin{aligned} \text{Yield*¥} &= (49.5 - 2.4)[\text{BV_milk}] + (400 - 263)[\text{BV_fat}] + (400 - 119)[\text{BV_SNF}] \\ &= 47.1[\text{BV_milk}] + 137[\text{BV_fat}] + 281[\text{BV_SNF}] \end{aligned}$$

日本の乳価は乳量(水分含む)に対する価値が比較的大きいことから、このまま選抜すると乳成分率の大幅な低下が懸念される。乳量 1kg に対する収益 47.1 円のうち、その半分(23.55 円)が乳量 1kg 中の乳脂量 0.035kg の値段と仮定し、乳脂量 1kg 当たりの価格は 23.55 円 / 0.035kg = 673 円/kg、同様に

SNF 量 1kg 当たりの価格は 23.55 円/0.083kg=284 円/kg とした。これらの価格をそれぞれ乳脂量と乳タンパク質量に上乘せし、乳量に対する重みを削除した。

$$\text{Yield*¥} = (137+673)[\text{BV_fat}] + (281+284)[\text{BV_SNF}] = 810[\text{BV_fat}] + 565[\text{BV_SNF}]$$

◎泌乳能力により得られる収益(Yield¥)

ここで平均産次数は、式[1]から 3 産(a₁=3)と設定したので、生乳生産による収益(Yield¥)は以下の式[2]のとおりとした。

$$\text{Yield¥} = 3.0 \times (810 \times [\text{BV_fat}] + 565 \times [\text{BV_SNF}]) = 2,430 [\text{BV_fat}] + 1,695 [\text{BV_SNF}] \quad \dots [2]$$

なお、海外種雄牛は BV_SNF が公表されていないことから、第 19 章の分析結果に基づき、乳量と乳タンパク質量の育種価(それぞれ BV_milk と BVprt)を使用し、以下の式から間接的に推定する。

$$\text{BV_SNF} = 0.0522 \times \text{BV_milk} + 1.077 \times \text{BV_prt}$$

(3) 生産寿命に対する重み

◎未経産牛における飼料費の割合

未経産は哺乳期、日本飼養標準に従い哺乳期、体重 120kg 未満および体重 120kg 以上の各ステージに分けて、以下のとおりパラメータを設定した。

表 22-3. 体重に関するパラメータの設定Ⅱ

ステージ	月齢範囲	平均体重	月齢による割合
哺乳期	0～ 2	62kg (1 カ月齢)	0.11
120kg 未満	2～ 4	110kg (3 カ月齢)	0.11
120kg 以上	4～24	395kg (13 カ月齢)	0.78

増体量(DG)は、0.74kg/d (= (587kg-42kg)/(24m×30.6001d))とした。哺乳期、体重 120kg 未満および体重 120kg 以上の各ステージにおける維持と成長に関するエネルギー要求量を計算した。

哺乳期 維持要求量：0.1152×62^{0.75}=0.1152×22.1=2.546
 成長要求量：0.1205×0.74×62^{0.75}=0.1205×0.74×22.1=1.971
 0.56：0.44

体重 120kg 未満 維持要求量：0.1183×110^{0.75}=0.1183×34.0=4.022
 成長要求量：0.1293×0.74×110^{0.75}=0.1293×0.74×34.0=3.253
 0.55：0.45

体重 120kg 以上 維持要求量：0.1163×395^{0.75}=0.1163×88.6=10.304
 成長要求量：0.1355×0.74×395^{0.75}=0.1355×0.74×88.6=8.884
 0.54：0.46

以上から、育成期の成長に関わるエネルギー要求量の割合は 0.46 (=0.44×0.11+0.45×0.11+0.46×0.78)になった。

◎未経産牛の増体量 1kg 当たりの育成経費

分娩から除籍までの平均産次は 3 産、牛群検定の情報(付録 22-4)を使用し平均在籍期間は初産分娩月齢と除籍月齢の差から 3.7 年(=(68 カ月齢 - 24 カ月齢) / 12 月)である。乳牛償却費は過去 5 年間の平均で 155,500 円/年と設定し、育成期に要した経費を 3.7 年(155,500 円/年)で償還するものとした。次に、子牛に対する初期投資として子牛の導入価格を搾乳牛通年換算 1 頭当たり生産費の子牛価格(最近 5 年平均)を適用し、子牛に対する初期投資として子牛の導入価格を同額の 150,866 円(生時体重 42kg)とする。初年の育成期に要した経費は 4,634 円/年(=155,500 円 - 150,866 円)、2 年から 3.7 年の経費は 419,850 円/年(=155,500 円×2.7 年)となる。その合計は 424,484 円、そのうち増体に要する飼養費は 46%であり、424,484 円×0.46=195,263 円。

また、生時から初産分娩の 24 カ月齢までに体重が 543kg(=585kg-42kg)増加するので、初産分娩までの増体 1kg 当たりの経費は以下の式から 357 円/kg である。

$$[(155,500 \text{ 円} - 150,866 \text{ 円}) + 155,500 \text{ 円} \times 2.7 \text{ 年}] \times 0.46 / (585 \text{ kg} - 42 \text{ kg}) \\ = 195,263 \text{ 円} / 543 \text{ kg} = 360 \text{ 円/kg} \quad \dots [3]$$

◎経産牛の増体量 1kg 当たりの飼料費

生産・維持・成長に必要な経産牛の飼料費は 403,081 円/頭(過去 5 年平均)、成長に必要な経産牛の飼料費は 28,216 円(=403,081 円/頭×0.07)。初産分娩から除籍までの 1kg 増体当たりの飼料費は、以下のとおり 597 円/kg になる。

$$(28,216 \text{ 円} \times 3.7 \text{ 年}) / (774 \text{ kg} - 587 \text{ kg}) = 558 \text{ 円/kg} \quad \dots [4]$$

◎在群能力(DLO¥)に対する重み

淘汰まで摂取した飼料の経費を計算すると、体重 1kg 当たりの経費は以下の式により 410 円/kg である。

$$[(585 - 42) \times 360 + (774 - 587) \times 558] / (774 - 42) = (195,480 + 104,346) / 732 = 410 \text{ 円/kg} \quad \dots [5]$$

体重 1kg 当たりの施設管理費は[7]から 186 円/kg と仮定する(飼養管理費 Maint¥)と、体重 1kg 当たりの経費は以下の式により 224 円/kg(=410 円/kg-186 円/kg)となる。

淘汰時平均体重 774kg とした場合、淘汰までの 1 頭当たり飼料費 163,968 円(= 224 円/kg ×(774-42))であり、これは体重の増加により個々の牛に蓄えられた利潤 Profit¥と仮定。産次当たり Profit¥ は、54,656 円/産(=163,968 円/3 産)であり、体重増加により蓄えられた収益と仮定すると、在群能力に対する経済的重み(DLO¥)は、式[1]の b_2 を使用し、以下のとおり計算できる。ここで、 $BV^*_DLO = BV_DLO \times 10^2$ とする。

$$DLO¥ = \text{Profit¥} \times b_2 \times BV_DLO = 54,656 \times 0.12 \times BV^*_DLO = 6,559 BV^*_DLO \quad \dots [6]$$

(4) 飼養管理費(Maint¥)に関連する体重の重み

ここでは体重の増加により飼料費とハウジングコスト(施設管理費)が上昇する一方、体重増加により子牛の生時体重と屠畜時の体重が増え、その分が収益となる。体重 1kg 当たりの更新時から成牛までの飼料費は、上述の式[5]から 410 円/kg である。次に、体重の増加により施設管理費が上昇すると仮定する。敷料とその他の年間 1 頭当たりの費用を 133,317 円/頭、経産牛の平均体重を 718kg とする

と体重 1kg 当たりの施設管理費は 186 円/kg(=133,317 円/718kg)となる[7]。

一方、母牛の体重が増えると子牛の生時体重も増加し、それにより子牛の価格が上昇すると仮定する。母牛の平均体重を 718kg とすると、体重 1kg 当たり 210 円(=150,866 円/718kg)の収入が得られる。屠畜による収入を 1 頭当たり 150,000 円、除籍時の体重を 785kg と仮定すると、体重 1kg 当たりの屠畜収入は 191 円/kg(=150,000 円/785kg)となる。体重 1kg 当たりの飼養管理費 Maint¥は、以下の式から 5,035 円/kg となる。

$$\text{Maint¥} = (-422 \text{ 円/kg} - 186 \text{ 円/kg}) \times 3 \text{ 産} + 210 \text{ 円/kg} + 191 \text{ 円/kg} = -1,423 \text{ 円/kg}$$

◎体重(Weight)の推定

初産(35 カ月齢以下)の体重、線形式体型形質の高さ、胸の幅、体の深さおよび尻の幅の記録を保有する雌牛 658,664 頭を抽出、各形質の SBV に対する体重(胸囲からの予測値)の一次回帰分析を行い、傾きの大きさから各形質の重みを設定し体重成分(BWC)を作成した。

表 22-4. 体格に関する形質の SBV に対する体重の一次回帰分析の結果

形 質	月齢効果	切片	切片 SD	傾き	傾き SD	R2	BWC 重み
高さ SBV	2.503	521.558	0.654	17.490	0.062	0.11	0.32
胸の幅 SBV	1.689	527.408	0.669	14.404	0.068	0.07	0.26
体の深さ SBV	1.648	526.753	0.670	15.405	0.073	0.07	0.28
尻の角度 SBV	2.516	523.563	0.937	7.986	0.0970	0.04	0.14
BWC	2.2508	532.280	1.059	10.6262	0.1200	0.05	

BWC は、以下の通りである。

$$\text{BWC} = 0.32(\text{SBV_高さ}) + 0.26(\text{SBV_胸の幅}) + 0.28(\text{SBV_体の深}) + 0.14(\text{SBV_尻の幅})$$

次に、体重を予測する式は、以下のとおりである。

$$\text{B_Weight} = 524 + 2.53 \times [\text{月齢}] + 11.83 \times [\text{BWC}]$$

◎体重増加に伴う飼養管理費(Maint¥)の上昇

飼養管理費は、体重の増加により支出が増加する関係にあることから、以下の式で推定した。

$$\text{Maint¥} = 1,423 \text{ 円/kg} \times (-11.83) = -16,834 \text{ 円} \quad \dots [8]$$

(5) 繁殖性(Fert¥)に対する重み

1 年 1 産と仮定し、搾乳牛通年換算 1 頭当たり生産費から年間の種付け料を 15,070 円/年(最近 5 年間の平均)とした。また、牛群検定の集計から平均授精回数 2.4 回/産、授精当たり種付け料は、15,070 円/2.4 回=6,279 円/回である。

種付け後に受胎しなければ、1 回の授精当たり次産の分娩が 21 日間延びる。分娩後 30 日前後の乳量と 305 日の乾乳に近い乳量の差を平均で 20kg と仮定し、受胎しなければ 40,614 円/回(=21 日/回 × 20kg × 96.7 円/kg)の損失が出るものとした。

繁殖性成分(FRC) に対する授精回数(Insem)の回帰により式[6]の c1 と c2 を産次別に推定した。

表 22-5. 繁殖性成分に対する授精回数的一次回帰分析の結果

産次	記録数	切片 c1	切片 SD	傾き c2	傾き SD	R2
1	2,178,921	2.5529	0.0015	-0.2713	0.0009	0.04
2	1,672,982	2.5980	0.0018	-0.2144	0.0011	0.02
3	1,133,119	2.5956	0.0022	-0.1951	0.0013	0.02

繁殖性の低下に伴う損失は、以下のとおり。

$$\begin{aligned} \text{Fert}\text{¥} &= (-6,279 \text{ 円} - 40,614 \text{ 円}) \times (3 \text{ 産} \times c2) \\ &= -46,893 \text{ 円} \times (-0.27 - 0.21 - 0.20) = +31,887 \end{aligned}$$

・・・[9]

(6) 体細胞スコア(SCS¥)に対する重み

◎乳量の損失額

2016年から2020年の5年間の平均で通年換算1頭当たり乳脂率3.5%およびSNF率8.3%の換算乳量(365日)は9,241kgであり、その時の換算乳価は平均で893,984円である。換算乳量1kg当たりの乳価は96.7円(=893,984円/9,241kg)である。一方、体細胞スコアの増加に伴う乳量の損失率を推定すると、以下の通り初産でスコア当たり1.64%、2産において2.25%および3産において2.30%が推定された。

表 22-6. 体細胞スコアに対する乳量の損失率

	記録数	平均乳量	傾き	SCS 当たり 乳量損失率	換算乳量 の損失量	損失額
初産	633,389	8,400kg	-138kg	1.64%	152kg	14,655 円
2 産	555,548	9,740kg	-219kg	2.25%	208kg	20,114 円
3 産	425,597	10,087kg	-232kg	2.30%	213kg	20,597 円

したがって、乳量の損失額は3産の合計で55,366円(=14,655+20,114+20,597)である。

◎潜在性乳房炎による損失

体細胞数の増加は潜在性乳房炎の危険性が上昇する。潜在性乳房炎による損失額でもっと大きな要因は乳量の減少であり全体の64%を占めた。その他に牛乳の廃棄、代替牛の更新費用、廃用売却益の低減、薬剤費、診療費および過剰労賃による損失額が加わる。その他の損失額の割合は36%とした(南根室地区農業改良普及所 1991)。その他の原因による損失額は、初産において8,243円(=14,655×0.36/0.64)、2産において11,314円(=20,114×0.36/0.64)および3産において11,586円(=20,597×0.36/0.64)となった。[BV_SCC - Av_SCC]に対する経済的重みは以下のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{SCS}\text{¥} &= [- (14,655+20,114+20,597) - (8,243+11,314+11,586)] \\ &= (-55,366 - 31,143) \\ &= -86,509 \end{aligned}$$

(7) 乳房成分(Udder%)に対する重み

乳房形質は生産寿命の延長との関連性から体型形質の改良の中で重要な位置を占めている。具体的に乳房の選抜は搾乳管理を容易にし、しかも体細胞数の低減によって間接的に泌乳量の増加に影響を与え、その結果として生産寿命の延長が期待できると考えられている。SCSの1スコア当たり上昇に伴う乳量低下の減収額は、初産で-14,655円/スコアであるから、UDC当たりの収益の増加量は3,429円(-14,655円×-0.234)、同様に2産と3産以上は以下の通りとなる。

表 22-7. 乳房成分に対する体細胞スコアの一次回帰分析とスコア当たりの減収額から算出した乳房成分当たりの増収額

	記録数	切片	傾き	減収額 円/スコア	UDC 当たり 増収額
初産	523,196	2.081	-0.234	-14,655 円	3,429 円
2 産	454,900	2.413	-0.177	-20,114 円	3,560 円
3 産	333,301	2.670	-0.154	-20,597 円	3,172 円

乳代は年間一頭当たり 893,984 円であり飼料費は年間 403,081 円であるから、飼料費を差し引いた乳量による収益は 490,903 円。

UDC 当たりの産次数の上昇は、UDC に対する Pa72 の回帰分析の結果、0.039 産/UDC であるから、UDC 当たりの収益は+19,145 円(=490,903 円×0.039)と仮定した。その結果、UDC に対する重みは $Udder\% = [(3,429+3,560+3,172) + 19,145] = 29,306$

(8) 肢蹄成分(F&L%)に対する重み

肢蹄は繁殖性との関係を示唆する報告が多い。すなわち、肢蹄に対する選抜は繁殖性の改善によって生産寿命の改良が期待できる。FLC に対する授精回数の一次回帰は 2.390-0.0105FLC であり、種付け 1 回当たり 6,279 円経費が増加する一方、FLC 当たり-0.0105 回の授精が減少するので、66 円(=(-6,279 円)×(-0.0067))収益となる。

FLC 当たりの産次数の上昇は、FLC に対する Pa72 の回帰分析の結果、0.017 産/FLC であるから、FLC 当たりの乳量による収益は+8,345 円(=490,903 円×0.017)と仮定した。FLC に対する経済的重みは、以下のとおり授精回数と乳量による収益で推定した。

$$F\&L\% = 66 \times 3 + 8,345 = 8,543$$

(9) 耐病性成分(DResist%)に対する重み

年間平均の獣医診療・医薬品費(以下、診療費とする)は 29,406 円/頭とする。次に家畜共済統計を利用し、農業共済加入乳用牛に対する病傷個体数の割合(病傷率)を調査した。それによると病傷率は徐々に上昇する傾向がみられ、2018 年度の平均で約 64.81%に至った(付録 22-5)。なお、最近の病傷率を 63%程度と仮定し、1 頭当たり 1 回の平均診療費を 46,676 円/回(=29,406/0.63)と推測した。

次に、耐病性成分に含まれる 8 形質の育種価を推定するために使用したデータを利用し、8 形質の何れかの疾病で受診した 1 頭当たり診療回数を以下に示した。

表 22-8. 8 形質の何れかの疾病で受診した 1 頭当たり診療回数

生 年	2015	2016	2017	2018	2019
頭 数	13,240	13,274	14,556	15,121	13,930
8 形質の割合	47.85%	42.96%	41.52%	43.03%	34.36%

8 形質の何れかの疾病で診療を受けた割合は 2015 年には 47.85%あったが、減少傾向を示し、2019 年の集計で 34.36%に低下した。8 形質の何れかの疾病で診療を受けた割合は減少傾向が認められることからおおよそ 40%と仮定し、診療を受けたすべての個体の中で 8 形質の何れかで診療を受けた割合は 63%(=0.40/0.63)と試算した。これら仮定した情報から、8 形質の何れかに罹患し診療した時の費用(つまり診療費)を 1 頭当たり平均 29,406 円/回(=46,676×0.63)と算出した。診療費は耐病性成分が高くなるほど低減されるという関係にある。

次に、2001 年以降に生まれた雌牛の耐病性成分に対する診療回数の回帰分析を行った。その結果、回帰式は、 $y_i = 0.432 - 0.237x_i$ となった。ここで、 y_i は i 番目雌牛において 8 形質の何れかで診療した回数、 x_i は i 番目雌牛の耐病性成分である。耐病性成分が高いほど診療回数が低下する傾向が認められた。耐病性成分の重み(DResist ¥)は、以下のように(1 回当たりの診療費の低減)×(回帰係数)×3 産となる。

$$DResist¥ = -29,406 \text{ 円} \times (-0.237) \times 3 = 20,908 \text{ 円}$$

3. 各形質に対する重み付けと相対的重み

表 22-9 には長命連産効果に含まれる各形質の相対的重みを示した。新しい長命連産効果の泌乳形質に対する重みは 46.4%であり、現在の長命連産効果の 40%よりも増えた(附表 22-7 参照)。体型に対する重みは新しい長命連産効果で 15.9%であり、現在の長命連産効果(14%)よりも増えた。現在の長命連産効果にはボディコンディションを 14%の重みで加えているが、新しい長命連産効果では、繁殖性成分と耐病性成分を合計で 16.3%加えた。また、SCS の改良をさらに強化するため、新しい長命連産効果の SCS に対する重みは-6%から-8.5%に増加を図った。

表22-9. 長命連産効果に含まれる各形質の重みと相対的重み

形 質	単 位	標準偏差 (SD)	重み(円)	相対的重み(%)
乳脂量	kg	19.51	2,430	19.3
無脂固形分量	kg	39.35	1,695	27.1
在群能力 ×10 ²	-	4.857	6,559	13.0
体重(BWC)	成分	0.841	-16,834	-5.8
乳房(UDC)	成分	0.594	29,306	7.1
肢蹄(FLC)	成分	0.873	8,543	3.0
体細胞スコア	Log	0.243	-86,509	-8.5
繁殖性(FRC)	成分	0.848	31,887	11.0
耐病性成分(DRC)	成分	0.626	20,908	5.3

表22-10. 長命連産効果で選抜した時の各形質の年当たり選抜反応量(遺伝的改良量)

形 質	現在の 長命連産効果	新長命連産効果	
		耐病性成分 なし	耐病性成分 あり
乳量	35.1	95.6	75.8
乳脂量	1.94	3.82	3.30
無脂固形分量	3.82	8.28	8.17
乳タンパク質量	1.51	2.87	2.42
乳脂率	0.004	-0.001	0.002
無脂固形分率	0.009	0.000	0.000
乳タンパク質率	0.004	-0.002	0.000
体細胞スコア	-0.062	-0.051	-0.056
泌乳持続性	0.064	0.075	0.068
空胎日数	-2.208	-1.364	-1.051
初回授精受胎率	0.822	0.709	0.590
未経産受胎率	0.182	0.470	0.435
真の在群期間84, 月数	1.417	1.033	1.165
真の生産期間84, 月数	1.198	0.865	0.976
在群能力*	1.890	1.355	1.561
体貌と骨格	0.031	-0.012	-0.023
肢蹄	0.055	0.030	0.030
乳用強健性	-0.035	-0.010	-0.031
乳器	0.098	0.065	0.060
決定得点	0.067	0.035	0.027
高さ	0.006	-0.023	-0.031
胸の幅	0.002	-0.018	-0.022
体の深さ	-0.011	-0.025	-0.033
鋭角性	-0.022	0.000	-0.010
坐骨幅	-0.012	-0.018	-0.021
尻の角度	0.019	0.006	0.004
歩様	0.021	0.014	0.015
後肢側望	-0.024	-0.004	-0.006
後肢後望	0.015	0.006	0.003
蹄の角度	0.005	0.000	-0.001
乳房の付着	0.041	0.017	0.019
後乳房の高さ	0.021	0.026	0.021
後乳房の幅	0.000	0.011	0.003
乳房の懸垂	-0.004	-0.002	-0.007
乳房の深さ	0.042	0.007	0.010
前乳頭の配置	0.000	0.001	-0.002
前乳頭の長さ	-0.009	-0.019	-0.021
後乳頭の配置	-0.012	-0.003	-0.003
乳房の傾斜	0.007	-0.005	-0.007
BCS	0.042	-0.003	0.007
気質	0.002	0.000	0.000
搾乳性	0.001	0.002	0.002
第四位変異*	-0.333	0.140	0.146
子宮内膜炎*	-0.085	0.043	0.048
乳房炎*	-1.941	1.421	1.430
乳熱*	-0.006	0.001	0.002
胎盤停滞*	-0.024	0.001	0.003
産褥熱*	-0.198	0.086	0.092
ケトーシス*	-0.208	0.073	0.085
肢蹄病*	-0.405	0.214	0.229

*: $\times 10^2$

4. 年当たり改良量

長命連産効果を使用し0.28σ/年の改良量が得られるように選抜した場合、各形質の改良量は表22-10のとおりであった。ここで、σは長命連産効果の遺伝標準偏差である。長命連産効果で選抜した時に生じる各形質の改良量は、現在使用されているもの(現効果)および本事業で開発した耐病性成分を含まないもの(新効果1)と含むもの(新効果2)を比較した。

新効果は現効果と比較し、泌乳量の改良量が高い一方で体型の改良量が低い傾向が見られた。新効果1は新効果2と比べ乳量と乳成分量において高い改良量が得られたが(乳量において新効果1は95.7kg/yr、新効果2は75.9kg/yr)、乳脂率と乳タンパク質率において僅かに負方向への反応が認められた。新効果2は新効果1と比較し生産寿命に関連するTHL84、TPL94および在群能力の改良量が僅かに高かった。新効果2は生産寿命と遺伝相関がある繁殖性、肢蹄および乳器の選抜反応量が新効果1より低く推定されたが、体細胞スコアと体のサイズは負の方向および歩様および耐病性の各形質で正の方向に選抜反応量が上昇した。体型では体貌と骨格の選抜反応量が負の傾向を示したが、決定得点は上昇すると推測された。

新しく推定した遺伝的パラメータを使用すると現効果による選抜によって乳量および乳成分量の選抜反応量が非常に少ない傾向が認められた。それゆえ、乳牛集団の生産性を向上させるため、長命連産効果はより早急に新しいものに変更することが望ましいと推察された。しかし、事業では耐病性成分の検証が不十分なことから、まずは新効果1に変更し、実用的な耐病性成分が開発された段階で新効果2に切り替えていく方法が望ましいのではないかと推察された。

5. 長命連産効果の計算例

長命連産効果(LP¥)は以下の式で計算する。

$$LP¥ = 2,430 \text{ 円} \times EBV_fat + 1,695 \text{ 円} \times EBV_SNF + 6,559 \times EBV_DLO - 16,834 \text{ 円} \times BWC + 29,306 \text{ 円} \times UDC + 8,345 \text{ 円} \times FLC - 86,509 \times EBV_SCS + 31,887 \text{ 円} \times FRC + 20,908 \text{ 円} \times DRC$$

ここで、EBV_fatは乳脂量の育種価、EBV_SNFは無脂固形分量の育種価、EBV_DLOは在群能力の育種価(×10²)、BWCは体重成分、UDCは乳房成分、FLCは肢蹄成分、EBV_SCSは体細胞スコアの育種価、FRCは繁殖性成分およびDRCは耐病性成分である。

表22-11. 長命連産効果の計算例

	重み	EBV(成分値)	EBV×重み
乳脂量	2,430	42	102,060
無脂固形分量	1,695	86	145,770
在群能力 × 10 ²	6,559	6.373	41,801
体重(BWC)	-16,834	-0.770	12,962
乳房(UDC)	29,306	0.495	14,506
肢蹄(FLC)	8,543	0.925	7,902
体細胞スコア	-86,509	0.369	-31,922
繁殖性(FRC)	31,887	-1.104	-35,203
耐病性成分(DRC)	20,908	0.543	11,353
合計(長命連産効果)			269,229

表 22-11 には、長命連産効果の計算例を示した。この例で示した育種価および各種成分値を使用すると、長命連産効果は 269,049 円になる。なお、BWC、UDC、FLC、FRC および DRC の詳細は、付録 22-8 に示したので参考にしてもらいたい。

参考文献

- 河原孝吉. 2011. 生産寿命と繁殖性の改良を考慮した利益指数の開発. 乳用牛国際競争力強化促進事業報告書, pp 4-29. 社団法人日本ホルスタイン登録協会.
- 南根室地区農業改良普及所. 1991. 営農改善資料第 19 集, 特集乳房炎 pp12-13. 南根室地区農業改良普及所発行,
- VanRaden, PM, GR Wiggans. 1995. Productive life evaluations: Calculation, accuracy, and economic value. *Journal of Dairy Science* 78:631-638.
- VanRaden, PM. 2000. Net merit as a measure of lifetime profit - 2000 version. AIP research report NM\$1 (11-00).
- VanRaden, PM, JB Cole, KL Parker Gaddis. 2018. Net merit as a measure of lifetime profit: 2018 revision. AIP research report NM\$7 (5-18).

付録 22-1 乳代効果の変換

乳代効果は、泌乳形質の育種価を牛群検定農家の全国平均手取り乳価および全国の平均的な乳脂率と無脂固形分率によるスライド額によって計算される。さらに、乳代効果は以下のように変換すれば、乳量、乳脂量および無脂固形分量の育種価で表示することができる。

(1) 乳脂率に関する項の変換

$$\begin{aligned}
 & BV_M[BV_F\% + F\%_{Base} - 3.5] + M_{Base}BV_F\% \\
 &= BV_M \left[100 \left(\frac{BV_F + F_{Base}}{BV_M + M_{Base}} - \frac{F_{Base}}{M_{Base}} \right) + \frac{100F_{Base}}{M_{Base}} - 3.5 \right] + 100M_{Base} \left(\frac{BV_F + F_{Base}}{BV_M + M_{Base}} - \frac{F_{Base}}{M_{Base}} \right) \\
 &= BV_M \left[100 \left(\frac{BV_F + F_{Base}}{BV_M + M_{Base}} \right) - 3.5 \right] + 100 \left[M_{Base} \left(\frac{BV_F + F_{Base}}{BV_M + M_{Base}} \right) - F_{Base} \right] \\
 &= 100 \left(\frac{BV_F + F_{Base}}{BV_M + M_{Base}} \right) (BV_M + M_{Base}) - (3.5BV_M + 100F_{Base}) \\
 &= 100(BV_F + F_{Base}) - (3.5BV_M + 100F_{Base}) \\
 &= 100BV_F - 3.5BV_M
 \end{aligned}$$

(2) 無脂固形分率に関する項の変換

$$\begin{aligned}
 & BV_M[BV_SNF\% + SNF\%_{Base} - 3.5] + M_{Base}BV_SNF\% \\
 &= BV_M \left[100 \left(\frac{BV_SNF + SNF_{Base}}{BV_M + M_{Base}} - \frac{SNF_{Base}}{M_{Base}} \right) + \frac{100SNF_{Base}}{M_{Base}} - 3.5 \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 100M_{Base} \left(\frac{BV_SNF + SNF_{Base}}{BV_M + M_{Base}} - \frac{SNF_{Base}}{M_{Base}} \right) \\
= & BV_M \left[100 \left(\frac{BV_SNF + SNF_{Base}}{BV_M + M_{Base}} \right) - 8.3 \right] + 100 \left[M_{Base} \left(\frac{BV_SNF + SNF_{Base}}{BV_M + M_{Base}} \right) - SNF_{Base} \right] \\
= & 100 \left(\frac{BV_SNF + SNF_{Base}}{BV_M + M_{Base}} \right) (BV_M + M_{Base}) - (8.3 + 100SNF_{Base}) \\
= & 100(BV_SNF + SNF_{Base}) - (8.3BV_M + 100SNF_{Base}) \\
= & 100BV_SNF - 8.3BV_M
\end{aligned}$$

(3) 乳代効果の変換

$$\begin{aligned}
\text{乳代効果} &= aBV_M + 4(100BV_F - 3.5BV_M) + 4(100BV_SNF - 8.3BV_M) \\
&= (a - 47.2)BV_M + 400BV_F + 400BV_SNF
\end{aligned}$$

付録22-2. 牛乳生産費のうち、生産概況（搾乳牛通年換算1頭当たり）

年	実乳量	F%	SNF%	乳価	換算乳量		換算乳価/kg		子牛 価格	きゅう肥 利用料	粗収入	子牛 生産 頭数
					3.5%F	3.5%F+ 8.3%S	F換算	FS換算				
2005	8,048	3.97	8.74	665,484	9,125	8,669	72.93	76.77	51,568	16,979	68,547	0.91
2006	7,994	3.96	8.71	647,568	9,055	8,583	71.51	75.44	53,922	16,432	70,354	0.89
2007	7,999	3.96	8.71	649,159	9,045	8,589	71.77	75.58	52,858	16,638	69,496	0.91
2008	8,075	3.96	8.71	689,078	9,129	8,670	75.48	79.48	44,218	17,446	61,664	0.88
2009	8,155	3.94	8.68	738,569	9,174	8,722	80.51	84.68	45,248	16,883	62,131	0.87
2010	8,066	3.91	8.69	715,101	9,002	8,613	79.44	83.03	54,096	17,185	71,281	0.89
2011	8,047	3.92	8.73	726,050	9,024	8,627	80.46	84.16	52,889	16,858	69,747	0.90
2012	8,167	3.91	8.75	746,804	9,123	8,762	81.86	85.23	55,659	16,469	72,128	0.91
2013	8,219	3.89	8.73	759,422	9,137	8,790	83.12	86.39	65,475	17,024	82,499	0.90
2014	8,335	3.88	8.74	816,802	9,240	8,914	88.40	91.63	71,457	16,849	88,306	0.92
2015	8,470	3.90	8.75	858,540	9,428	9,080	91.06	94.55	100,692	15,962	116,654	0.93
2016	8,511	3.90	8.75	868,727	9,478	9,124	91.66	95.21	131,504	15,851	147,355	0.94
2017	8,526	3.90	8.76	883,512	9,496	9,147	93.04	96.59	147,811	17,380	165,191	0.91
2018	8,683	3.91	8.73	895,672	9,696	9,301	92.38	96.30	164,028	17,594	181,622	0.90
2019	8,607	3.93	8.74	901,366	9,670	9,242	93.21	97.53	164,128	18,250	182,378	0.92
2020	8,745	3.92	8.75	920,644	9,811	9,390	93.84	98.05	146,860	18,348	165,208	0.92
2016-20	8,614	3.91	8.75	893,984	9,630	9,241	92.82	96.74	150,866	17,485	168,351	0.92

付録22-3. 牛乳生産費のうち、生産費（搾乳牛通年換算1頭当たり生産費）

年	物財費							副産物		
	種付料	飼料費	敷料費	乳牛 償却費	獣医師 医薬品費	その他	合計	子牛	きゅう 肥	合計
2005	11,102	295,292	6,325	90,268	22,368	88,447	513,802	51,568	16,979	68,547
2006	11,266	301,717	6,193	93,800	22,519	90,192	525,687	53,922	16,432	70,354
2007	11,860	329,027	6,915	95,721	22,598	99,350	565,471	52,858	16,638	69,496
2008	11,613	354,535	7,378	97,964	23,153	103,545	598,188	44,218	17,446	61,664
2009	11,361	333,383	7,693	104,339	23,979	100,644	581,399	45,248	16,883	62,131
2010	11,294	329,594	8,245	107,764	24,842	102,936	584,675	54,096	17,185	71,281
2011	11,448	343,117	8,631	108,848	24,127	103,952	600,123	52,889	16,858	69,747
2012	11,853	354,121	8,885	110,129	24,219	101,131	610,338	55,659	16,469	72,128
2013	12,098	380,092	9,413	107,746	24,453	103,041	636,843	65,475	17,024	82,499
2014	12,262	394,800	9,649	104,274	25,805	106,640	653,430	71,457	16,849	88,306
2015	12,941	389,653	9,787	105,820	27,251	106,332	651,784	100,692	15,962	116,654
2016	13,414	386,897	9,646	123,417	28,560	114,145	676,079	131,504	15,851	147,355
2017	14,231	392,155	9,834	143,674	28,209	119,914	708,017	147,811	17,380	165,191
2018	14,929	402,009	11,406	164,315	29,510	127,042	749,211	164,028	17,594	181,622
2019	15,998	411,699	10,932	171,383	30,027	125,942	765,981	164,128	18,250	182,378
2020	16,777	422,646	12,019	174,711	30,726	125,703	782,582	146,860	18,348	165,208
2016-20	15,070	403,081	10,767	155,500	29,406	122,549	736,374	150,866	17,485	168,351

付録22-4. 牛群検定情報（乳用牛群脳力検定成績にまとめ、LIAJ）

年度	除籍		検定日		平均授 精回数	平均空 胎日数	平均分娩 間隔	平均SCC
	平均産次	平均月齢	平均産次	平均月齢				
2005	3.14	67.9	2.6	49	2.3	158	434	270
2006	3.09	66.4	2.6	48	2.3	158	431	246
2007	3.38	65.1	2.7	48	2.3	151	433	239
2008	3.39	65.3	2.7	49	2.3	155	431	235
2009	3.4	65.1	2.7	48	2.3	157	433	237
2010	3.49	71.2	2.6	48	2.4	164	433	249
2011	3.49	71.4	2.6	47	2.4	165	438	247
2012	3.48	71.2	2.7	48	2.4	163	435	251
2013	3.44	70.8	2.6	48	2.4	164	437	234
2014	3.42	70.3	2.6	47	2.4	161	435	231
2015	3.38	69.5	2.6	46	2.3	159	433	228
2016	3.36	68.9	2.6	46	2.3	160	432	229
2017	3.32	68.5	2.6	46	2.4	162	433	224
2018	3.33	68.4	2.6	46	2.4	161	433	224
2019	3.35	67.8	2.5	45	2.3	160	432	220
2020	3.33	67.4	2.5	45	2.3	158	431	220
2016-20	3.338	68.2	2.56	45.6	2.34	160.2	432.2	223.4

付録22-5. 家畜共済統計(農業共済加入乳用牛)

年 度	加入頭数	病傷頭数	割 合
2005	2,325,399	1,448,193	62.28
2006	2,350,386	1,450,474	61.71
2007	2,333,715	1,427,431	61.17
2008	2,280,193	1,410,721	61.87
2009	2,274,199	1,416,592	62.29
2010	2,274,655	1,411,672	62.06
2011	2,256,719	1,357,020	60.13
2012	2,228,018	1,382,101	62.03
2013	2,204,681	1,396,865	63.36
2014	2,174,162	1,285,006	59.10
2015	2,156,387	1,322,747	61.34
2016	2,143,709	1,334,996	62.28
2017	2,131,950	1,313,387	61.60
2018	2,033,562	1,317,982	64.81
2016-18	6,309,221	3,966,365	62.87

付録22-6. 体重の推奨発育値(2020年3月)

(単位：kg)

月齢	理想発育値	発育の範囲		
0	41.9	26.0	-	57.9
1	61.8	44.9	-	78.7
2	85.1	68.0	-	102.3
3	111.1	94.0	-	128.2
4	139.0	122.0	-	156.1
5	168.2	150.9	-	185.6
6	198.5	180.4	-	216.7
7	228.2	208.9	-	247.5
8	258.0	237.4	-	278.7
9	287.3	265.1	-	309.5
10	315.7	292.1	-	339.4
11	343.2	318.2	-	368.1
12	369.4	343.2	-	395.6
13	394.4	367.1	-	421.8
14	418.2	389.8	-	446.5
15	440.5	411.3	-	469.7
16	461.6	431.5	-	491.7
17	481.3	450.4	-	512.3
18	499.8	467.9	-	531.6
19	517.0	484.2	-	549.8
20	533.0	499.3	-	566.8
21	548.0	513.1	-	582.8
22	561.8	525.7	-	597.9
23	574.6	537.3	-	611.9
24	586.5	547.8	-	625.2
25	597.5	557.4	-	637.6
26	607.6	566.1	-	649.2
27	617.0	573.9	-	660.1
28	625.7	581.0	-	670.3
29	633.7	587.4	-	679.9
30	641.0	593.2	-	688.8
31	647.8	598.4	-	697.2
32	654.0	603.1	-	705.0
33	659.8	607.4	-	712.2
34	665.1	611.1	-	719.0
35	670.0	615.6	-	725.4
36	674.5	617.6	-	731.3
37	679.6	622.6	-	736.5
38	684.7	627.7	-	741.7
39	690.2	631.7	-	748.6
40	695.4	635.5	-	755.3
41	700.3	639.0	-	761.7
42	705.1	642.3	-	767.9
43	709.6	645.3	-	773.8
44	713.8	648.2	-	779.5
45	717.9	650.8	-	785.0
46	721.8	653.3	-	790.2
47	725.5	655.6	-	795.3
48	729.0	657.8	-	800.1
49	732.3	659.8	-	804.8
50	735.5	661.7	-	809.3
51	738.5	663.4	-	813.6
52	741.4	665.0	-	817.8
53	744.1	666.5	-	821.8
54	746.8	667.9	-	825.6
55	749.3	669.2	-	829.3
56	751.6	670.4	-	832.9
57	753.9	671.6	-	836.3
58	756.1	672.6	-	839.6
59	758.1	673.6	-	842.7
60	760.1	674.4	-	845.8
68	773.9	680.6	-	867.3

付録22-7. 現在の長命連産効果に含まれる各形質の重みと相対的重み

形質	単位	重み(円)	相対的重み(%)
乳脂量	kg	327	11
無脂固形分量	kg	338	23
乳脂率	%	16,272	6
在群能力	-	318,521	26
乳房(UDC)	成分	6,973	8
肢蹄(得率)	得率	19,958	4
尻の角度	スコア	2,649	2
ボディコンディション	スコア	34,185	14
体細胞スコア	Log	13,618	-6

付録 22-8 選抜に使用する各種成分式

(1) 乳房成分(UDC : Udder Composite)

乳房に関係する8形質を使用し、EBV(育種価)からSBV(標準化育種価)を利用した式に変更した。

$$UDC = 0.23 \times SBV_{MS} + 0.11 \times SBV_{uatt} + 0.06 \times SBV_{uhgt} + 0.06 \times SBV_{usup} + 0.24 \times SBV_{udpt} + 0.06 \times SBV_{ftp} - 0.09 \times SBV_{ftl} - 0.15 \times SBV_{rtp}$$

ここで、*MS*は乳器(得率)、*uatt*は前乳房の付着、*uhgt*は後乳房の高さ、*usup*は乳房の懸垂、*udpt*は乳房の深さ、*ftp*は前乳頭の配置、*ftl*は前乳頭の長さおよび*rtp*は後乳頭の配置である。EBVの標準化(SBV)に使用した平均値と標準偏差は2015年の雌牛集団から推定した。*MS*、*uatt*、*uhgt*、*usup*、*udpt*、*ftp*、*ftl*および*rtp*のEBVの標準偏差は、それぞれ0.544、0.295、0.286、0.249、0.494、0.381、0.435および0.325とした。また、UDCの標準偏差は0.594である。標準偏差は2015年生れの雌牛集団から推定した。

(2) 体の大きさ成分(BSC : Body Size Composite)

体貌と骨格を改良しながら、体のサイズを小さくするための指数。

$$BSC = 0.45 \times SBV_{B\&F} - 0.14 \times SBV_{str} - 0.15 \times SBV_{chs} - 0.15 \times SBV_{dpt} - 0.11 \times SBV_{pin}$$

ここで、*B&F*は体貌と骨格、*str*は高さ、*chs*は胸の幅、*dpt*は体の深さおよび*pin*は坐骨幅である。各EBVの標準偏差は、それぞれ0.669、0.585、0.239、0.318および0.385である。BSCの標準偏差は0.292である。

(3) 肢蹄成分(FLC : Feet & Legs Composite)

肢蹄の改良には以下の肢蹄成分を使用する。

$$FLC = 0.50 \times SBV_{F\&L} + 0.50 \times SBV_{loc}$$

ここで、*F&L*は肢蹄(得率)、*loc*は歩様であり、各EBVの遺伝標準偏差はそれぞれ0.337および

0.121 である。FLC の標準偏差は 0.873 である。

(4) 体重成分(BWC : Body Weight Composite)

体重を減少させるための選抜に使用する。

$$BWC = 0.32 \times SBV_{str} + 0.26 \times SBV_{chs} + 0.28 \times SBV_{dpt} + 0.14 \times SBV_{pin}$$

ここで、各形質の名称と遺伝標準偏差は (2) の体の大きさ成分と同じである。BWC の標準偏差は 0.841 である。

(5) 繁殖性成分(FRC : Fertility Composite)

繁殖性成分は、空胎日数、初産受胎率および未経産受胎率の EBV から推定した SBV を利用した。初産受胎率と未経産受胎率は確率に変換した数値は利用しなかった。

$$FRC = -0.17 \times SBV_{DO} + 0.44 \times SBV_{ins} + 0.39 \times SBV_{hins}$$

ここで、DO は空胎日数、ins は初産受胎率および hins は未経産受胎率である。各形質の EBV の平均値と標準偏差はそれぞれ 0.125 と 10.152、-0.045 と 4.118 および -0.037 と 2.593 である。FRC の標準偏差は 0.848 である。

(6) 耐病性成分(DRC : Disease Resistance Composite)

耐病性成分は 8 形質の SBV から構成されている指数である。

$$DRC = 0.08 \times SBV_{DA} + 0.15 \times SBV_{METR} + 0.21 \times SBV_{MAST} + 0.04 \times SBV_{MFEV} + 0.06 \times SBV_{REPL} \\ + 0.10 \times SBV_{PFEV} + 0.18 \times SBV_{KETO} + 0.18 \times SBV_{FLD}$$

ここで、DA は第四胃変位(displaced abomasum)、METR は子宮内膜炎(metritis)、MAST は臨床性乳房炎(clinical mastitis)、MFEV は乳熱(milk fever)、REPL は胎盤停滞(retained placenta)、PFEV は産褥熱(puerperal fever)、KETO はケトosis(ketosis)および FLD は肢蹄病(feet & legs disease)である。各耐病性形質の遺伝分散は非常に小さいことから、各 EBV は 100 倍した数値として扱った。各形質の標準偏差はそれぞれ 1.996、0.261、4.741、0.063、0.181、0.765、0.529 および 1.032 である。DRC の標準偏差は 0.626 である。

(7) 各種成分の標準偏差(SD)

成分		標準偏差
乳房成分	UDC	0.594
体の大きさ成分	BSC	0.292
肢蹄成分	FLC	0.873
体重成分	BWC	0.841
繁殖性成分	FRC	0.848
耐病性成分	DRC	0.626

各種成分の SD は 2015 年生れの雌牛集団を基準にしている。

第23章 耐病性等の各種成分を利用した総合指数(NTP)の見直し

1. はじめに

本事業では、すでに生産寿命の改良を促進するため在群能力を NTP に追加するための分析を 2020 年度に行った。その結果を実用化し 2022 年 2 月の遺伝評価公表時には新 NTP(NTP₂₀₂₂)の改正という成果を得た。改正前の NTP₂₀₁₅ を構成する産乳成分、耐久性成分および疾病繁殖成分の重み付けはそれぞれ 70%、18%および 12%であった。一方、NTP₂₀₂₂ は、耐久性成分として在群能力を 10%追加したことで、各成分はそれぞれ 60%、28%および 12%に変更した(表 23-1)。しかし、NTP₂₀₂₂ における修正では不十分な箇所が多い。具体的に、生産寿命を改良する目的で在群能力を 10%追加したが、その他の形質の重みは経済状況等を考慮した検討を行わなかった。生産寿命を改良するため、先行の JRA 事業および本事業では体の大きさ成分(BSC)、肢蹄成分(FLC)、体重成分(BWC)、繁殖性成分(FRC)および耐病性成分(DRC)を開発したが、NTP₂₀₂₂ ではこれら指数化した各種成分を有効に利用するまでに至らなかった。本事業では 3 年間の分析期間を要して各種経済形質の遺伝的パラメータを推定することができた。それゆえ、本事業の 3 年度目には最新の遺伝的パラメータを利用して NTP の見直しを実施することができた。本章では乳房成分に加え BWC、FLC、FRC よび DRC を活用し、NTP の抜本的見直しを検討した。

2. 各形質に対する経済的重みと選抜反応量

(1) 産乳成分の見直し

泌乳形質は従来の NTP と同様に乳脂量と乳タンパク質量を直接選抜することとし、乳量および乳成分率が期待通り間接反応する重みを検討した。図 23-1 には乳脂量と乳タンパク質量の重み配分に対する乳量、乳脂量、乳タンパク質量および無脂固形分量の選抜反応量の変化を示した。各形質の選抜反応量は 2015 年生れの雌牛集団における育種価の標準偏差で標準化した。乳脂量に対する重み配分を増やすことで乳脂量の選抜反応量は上昇するが、乳量、乳タンパク質量および無脂固形分量の選抜反応量は低下する傾向が認められた。一方、図 23-2 には同様に乳脂率、乳タンパク質率および無脂固形分率の選抜反応量の変化を示したが、乳脂量の重みを増やすことですべての乳成分率が上昇した。特に乳脂率の選抜反応量は顕著な上昇がみられた。

表23-1. 総合指数(NTP)の重み付けの変遷

公表年月	産乳成分			耐久性成分				疾病繁殖成分		
	乳量	乳脂量	乳タンパク質量	乳房成分	決定得点	肢蹄	在群能力	体細胞スコア	泌乳持続性	空胎日数
1995年7月	-16.2	8.6	50.2	15.0	10.0					
2000年2月	-16.2	8.6	50.2	8.9	7.9	8.2				
2001年8月	-7.9	9.8	57.2	8.9	7.9	8.2				
2003年8月		20.25	54.75	21.25		3.75				
2010年2月		19.4	52.6	20.4		3.6		-4.0		
2015年8月		26.6	43.4	11.7		6.3		-4.0	2.0	-6.0
2022年2月		22.8	37.2	11.7		6.3	10.0	-4.0	2.0	-6.0

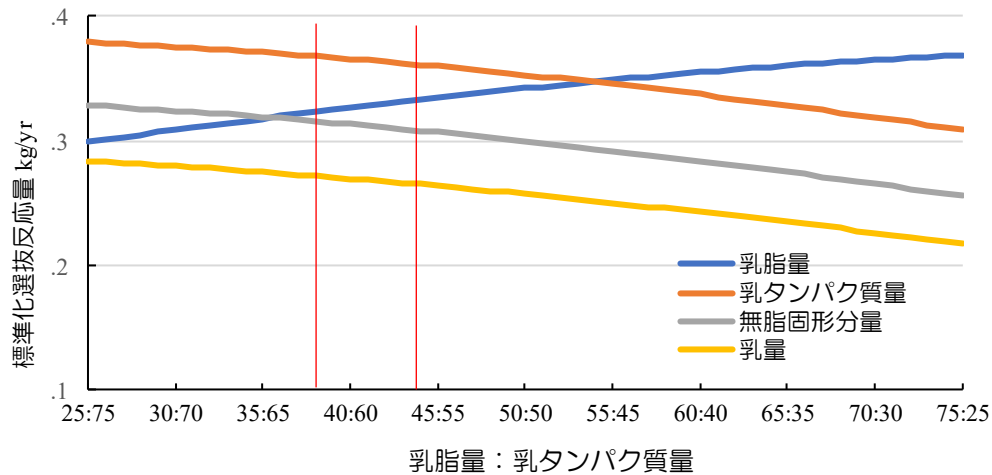


図23-1. 乳脂量と乳タンパク質量の重み配分に対する選抜反応量の変化

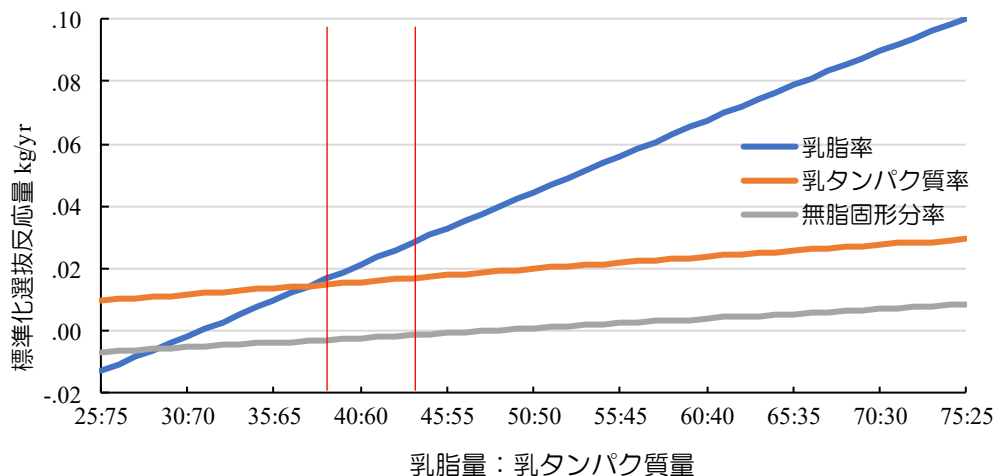


図23-2. 乳脂量と乳タンパク質量の重み配分に対する乳脂率、乳タンパク質率および無脂固形分率の選抜反応量の変化

国内で生産される生乳の約 53%が飲用向けであり、残りの約 47%は加工品向けとして利用されている。飲用牛乳として適度な乳成分率を維持しながら乳量を確保する必要性については国の家畜改良増殖目標に示されている。従来の NTP は乳タンパク質量の重みを大きくすることで乳量の選抜反応量を高く維持し、同時に乳成分率が低下しないように乳成分量を直接選抜するように設計した。また、乳タンパク質量の遺伝分散は乳脂量と比較して非常に小さいことから、乳タンパク質量を乳脂量と同等の速度で改良を進めるには、乳タンパク質量に対する重みを極端に増やす必要があった。そのため 1995 年に NTP が開発された当初、乳脂量と乳タンパク質量に対する相対的の重みは 15 : 85 (=8.6 : 50.2) に設定した。しかし、NTP は乳タンパク質量ばかりを改良する選抜指数のように見ると酪農家等から指摘を受けたこともあり乳タンパク質に対する重みを徐々に低くしてきた経緯がある。

2022 年から新型コロナの影響や資材費の高騰の影響が表面化し、それに伴い乳価の値上げに踏み切ったことで飲用牛乳の消費低迷が懸念されるようになった。また、脱脂粉乳については生産量の増加が消費を上回り、2022 年度の国内における脱脂粉乳の在庫は過去最高水準にまで積みあがっているとの報道

がある。一方、バターについては消費が増加傾向で推移しており在庫量は前年同期に比べ減少している状況にある。さらに、将来のチーズ需要を見越し、乳タンパク質量の改良を重視した経緯があったが、未だにチーズの国内需要の約8割を輸入が占めている状況にあり、消費の増加速度と比較し輸入から国産チーズへの置き換えが遅々として進んでいない状況にある。このような状況下、乳タンパク質量に対する重み配分を特に増やす根拠が希薄になっている。そこで、乳脂量と乳タンパク質量に対する重み配分を接近させることとした。ただし、泌乳能力の重みの変更は種雄牛の序列の変化を拡大する可能性があるため、今回の見直しでは乳脂量と乳タンパク質量に対する新しい重み配分を43:57にした。これにより、特に乳脂率の選抜反応量の上昇が期待できる(図23-2)。

(2) 耐久性成分と疾病繁殖成分の見直し

耐久性成分と疾病繁殖成分はどちらも生産寿命の改良を目的とする指数である。NTP₂₀₂₂の耐久性成分は乳房成分(UDC)、肢蹄および在群能力、疾病繁殖成分は体細胞スコア、泌乳持続性および空胎日数からそれぞれ構成されている。新しいNTPの開発に先行して長命連産効果の見直しを実施し、その分析の中で各形質における経済的重みを設定した。それゆえ、耐久性成分と疾病繁殖成分は長命連産効果の開発により、すでに設定済みの経済的重みを利用することにした。

表23-2には長命連産効果を開発した時の泌乳形質を除く形質を耐久性成分と疾病繁殖成分に分類し、各形質の重み配分を示した。耐久性成分には在群能力、UDC、FLCおよびBWCに対しそれぞれ45%、25%、10%および20%の重みを負荷した(重み1)。また、家畜改良増殖目標では泌乳持続性に対する改良の指針が明示されていることから、泌乳持続性は事前の分析で重み1でも正の方向に間接反応をすることが明らかだが、直接選抜の形質として重み2を設定した。NTP₂₀₂₂では泌乳持続性を疾病繁殖成分に含めたが、泌乳持続性は繁殖形質との間の遺伝相関が希薄であること、必ずしも耐病性の形質との間に正の遺伝相関が存在すると限らないことが判明している。一方、泌乳持続性は生産寿命との間に低い正の遺伝相関が観測されることから、繁殖や疾病等と関連のない理由で生産寿命の延長に関わっている可能性がある。それゆえ、泌乳持続性は耐久性成分に含めることとした。

表23-2. 長命連産効果を開発した時の泌乳形質を除く形質を耐久性成分と疾病繁殖成分に分類した場合の各形質の重み配分

	重み1	重み2
耐久性成分		
在群能力	45	44
乳房成分	25	24
肢蹄；肢蹄成分	10	10
体重成分	20	20
泌乳持続性		2
疾病繁殖成分		
体細胞スコア	41	41
空胎日数；繁殖成分	34	34
耐病性成分	25	25

重み1：長命連産効果に使用した重み配分

重み2：重み1に泌乳持続性を追加した場合の重み配分

また、家畜改良増殖目標では、搾乳ロボットに適合する体型を改良方針の一つとして示している。搾乳ロボットに適した体型については他の補助事業で研究中であるが、それによるとUDC およびFLCはロボット搾乳に対しても適合性が高いことが判明している。泌乳持続性を加えた耐病性成分の重み(重み2)は、在群能力、UDC、FLC、BWC および泌乳持続性に対しそれぞれ44%、24%、10%、20%および2%とした。疾病繁殖成分には体細胞スコア、FRC およびDRC を含めることにし、それぞれの重みは長命連産効果で積み上げた重みを踏襲し、それぞれ41%、34%、および25%とした。その結果、耐久性成分と疾病繁殖成分の重み配分は58%：42%とした。

(3) NTP の見直し

耐久性成分と疾病繁殖成分には、主に生産寿命の改良と関連がある形質が含まれている。泌乳能力が現在より低い時代、生産寿命は乳量および乳成分量との間に正の遺伝相関が存在したが、高能力化に伴い生産寿命と泌乳形質の遺伝的関係は希薄になり、最近ではむしろ低い負の遺伝相関が観測されるようになった。それゆえ、泌乳能力のみの選抜は間接反応により生産寿命の短縮が懸念されることから、泌乳能力と生産寿命とのバランスを考慮した選抜計画が必要になっている。

家畜改良増殖目標によると、長命連産性に対する選抜は生涯生産性の向上が期待できるものの、乳量の改良を抑制せざるを得ない可能性があることから、育種面による改良目標は現状を引き続き維持することになっている。一方、2022年度に入り現状の酪農産業界は、生乳と牛乳・乳製品の需要が減少し、経産牛の積極的な淘汰により生乳生産量の減産が進められている状況下にある。しかし、経済状況が好転し増産の機運が高揚した場合、泌乳能力の改良を怠っては生産体制を立て直し乳生産量の増産を早急に図ることは難しいと考えられる。遺伝的能力は長期間の選抜を通じて蓄積された成果に基づいている。それゆえ、特に経済的に重要な泌乳能力の改良は継続的に進めていく必要がある。

表23-3. 新しいNTPの開発において試作した3種類の指数およびそれぞれの指数に含まれる各形質の重み配分

	試作1	試作2	試作3
産乳成分	60	60	60
乳脂量	43	43	43
乳タンパク質量	57	57	57
耐久性成分	23	23	26
在群能力	45	44	44
乳房成分	25	24	24
肢蹄；肢蹄成分	10	10	10
体重成分	20	20	20
泌乳持続性		2	2
疾病繁殖成分	17	17	14
体細胞スコア	41	41	54
空胎日数；繁殖成分	34	34	46
耐病性成分	25	25	

以上のことから、新しいNTPの開発でも、引き続き泌乳能力の改良を重視すると共に生産寿命の延長が期待できる形質の改良を継続的に推進するような方針で設計した。具体的には、産乳成分とその他の重みは、NTP₂₀₂₂の重みと同様に60:40を堅持することにした。また、耐久性成分と疾病繁殖成分の重み配分は前述のとおり58%:42%としているので、新しいNTPの産乳成分、耐久性成分および疾病繁殖成分の重みは、60:40×(0.58:0.42)であるから、60:23:17とした。表23-3には、新しいNTPの開発において試作した3種類の指数およびそれぞれの指数に含まれる各形質の重み配分を示した。試作1における耐久性成分と疾病繁殖成分の重みは長命連産効果に使用した重み付けに基づき配分した。試作2は家畜改良増殖目標に掲げられた泌乳曲線の平準化の改良目標に従い、耐久性成分に泌乳持続性を追加した。耐病性形質および耐病性成分については本事業において遺伝評価の実用化が十分可能であることが確認されたが、遺伝評価のルーチン化に際し各地区の農業共済組合や(独)家畜改良センターと協議を進めなければならず、実用化のためのシステム開発は数年要すると考えられる。それゆえ試作3を作成し、耐病性指数を含まないNTPを試作し他の指数と比較した。

3. 選抜反応量の比較

表23-4にはNTP₂₀₂₂および本分析で試作したNTPを使用して選抜した時の泌乳形質、生産寿命、体型形質および各種成分等の年当たり反応量(改良量)を示した。試作した3種類の指数により選抜した場合、泌乳形質の反応量はNTP₂₀₂₂により選抜した場合と比較し大きな差異は見られなかった。体細胞スコアの反応量は、すべて負の方向を示した。泌乳持続性の選抜反応量は試作した3種の指数と比較しNTP₂₀₂₂で選抜した場合の方が若干高かった。泌乳持続性は乳脂量との間に低い負の遺伝相関(-0.184)が存在するが、乳タンパク質量とは無相関(0.046)の関係であった。本分析で試作した3種の指数は乳脂量に対する重みを増やしているため、泌乳持続性の反応量が低下したものと推察される。体細胞スコアはNTP₂₀₂₂で選抜するよりも新たに試作した指数で選抜した方が負の反応量が高い可能性が認められた。また、生産寿命に関係する3形質の反応量は、いずれも試作1で選抜した時に最も高く(0.686から0.950)、NTP₂₀₂₂で選抜した場合に最も低く予測された(0.497から0.732)。体型得点形質は体貌と骨格を除き、いずれの指数で選抜しても正の反応量を示した。BWCは、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅が負の方向に反応したことから負の反応量を示した(付表23-3)。一方、体の大きさ成分は、小型化への反応により、体貌と骨格の反応量が負を示しても、反応量は正の方向の反応量が予測された。乳房成分および肢蹄成分は正の反応量が得られることから、望ましい方向に改良が進むものと推察される。

FRCはいずれの指数で選抜しても0.002(NTP₂₀₂₂)から0.049(試作3)の範囲で正の反応量が予測された。しかし、FRCを構成する個々の形質を見た場合(付表23-3)、NTP₂₀₂₂で選抜では空胎日数と経産受胎率において望ましくない方向への反応が認められた(それぞれ0.037および-0.031)。また試作1と試作2で選抜した場合は空胎日数が延長方向に反応する傾向が認められたが経産受胎率と未經産受胎率の反応量は望ましい方向への反応が見られた。試作3による選抜はFRCの3形質で望ましい反応が見られ、FRCの反応量は最も高かった。DRCはNTP₂₀₂₂で選抜した場合、負の反応量を示すことが判明した。ことから、なるべく早くNTPの見直しが必要であることが示唆された。一方、本分析で試作した3種の指数で選抜するとDRCは正の方向に反応する可能性が認められた(0.022から0.029)。しかし、耐病性を構成する8形質すべてが正の反応を示すとは限らず、子宮内膜炎、乳熱および胎盤停滞の抵抗性で負の反応量が生じる可能性が認められた。

表23-4. NTP2022および試作1から試作3の指数を使用して選抜した時に得られる各形質および成分の反応量

	NTP(総合指数)			
	NTP ₂₀₂₂	試作1	試作2	試作3
乳量	110.2	101.6	102.7	107.7
乳脂量	5.21	5.43	5.43	5.46
無脂固形分量	10.09	10.43	10.51	9.80
乳タンパク質量	4.11	3.92	3.94	3.99
乳脂率	0.006	0.011	0.011	0.009
無脂固形分率	0.006	0.005	0.005	0.005
乳タンパク質率	0.005	0.006	0.006	0.005
体細胞スコア	-0.026	-0.037	-0.037	-0.034
泌乳持続性	0.026	0.004	0.008	0.013
在群期間84(THL84)	0.650	0.790	0.783	0.705
生産期間84(TPL84)	0.497	0.686	0.682	0.612
在群能力×10 ²	0.732	0.950	0.938	0.825
体貌と骨格	0.047	-0.005	-0.005	0.002
肢蹄	0.050	0.024	0.024	0.025
乳用強健性	0.067	0.017	0.018	0.027
乳器	0.084	0.044	0.044	0.049
決定得点	0.077	0.029	0.029	0.035
乳房成分(UDC)	0.055	0.018	0.017	0.023
肢蹄成分(FLC)	0.147	0.082	0.082	0.082
体重成分(BWC)	0.046	-0.030	-0.029	-0.021
体の大きさ成分(BSC)	0.012	0.009	0.009	0.010
繁殖性成分(FRC)	0.002	0.026	0.023	0.049
耐病性成分(DRC)	-0.022	0.029	0.028	0.022

特に DRC に含まれる 8 形質についてはすべて正の方向に改良することが望ましいが、繁殖性と耐病性に関する各形質は遺伝率が 0.1 以下の非常に低い形質であるから、FRC と DRC の重み付けをこれ以上大きくするのは泌乳能力等の改良を推進するうえで適切でないと推察された。むしろ、NTP だけでなく、長命連産効果を組み合わせた選抜方法を進めることが望ましいと考えられた。

以上の分析結果から、NTP₂₀₂₂ を利用した選抜は BWC を正の方向に反応させ大型化を促進する可能性があること、さらに DRC の反応量が負になることで耐病性が低下する可能性が認められた。一方、試作 1 と試作 2 を使用した選抜は、NTP₂₀₂₂ より乳房や肢蹄等の体型形質の反応量が少ないが、大型化を抑えて生産寿命や耐病性の改良量が期待できること、さらに家畜改良増殖目標に基づいた選抜形質のほとんどを網羅し適切な方向へ改良できることが予測された。特に試作 2 は今後の新しい NTP として期待できる指数であると推察される。なお、本分析では耐病性の遺伝評価が可能であることを示したが、実用化のための定期的な遺伝評価システムを構築するにはさらに時間を要すると考えられることから、当面は試作 3 を乳牛改良に応用することも検討する余地があると推察された。

4. 新NTPの計算例

本分析で開発した試作2のNTPは、以下の式で計算する。

$$\begin{aligned}
 NTP = & 6.0 \left[43 \frac{EBV_{fat}}{SD_{fat}} + 57 \frac{EBV_{prt}}{SD_{prt}} \right] \\
 & + 2.3 \left[44 \frac{EBV_{dlo}}{SD_{dlo}} + 24 \frac{EBV_{udc}}{SD_{udc}} + 10 \frac{EBV_{flc}}{SD_{flc}} - 20 \frac{EBV_{bwc}}{SD_{bwc}} + 2 \frac{EBV_{per}}{SD_{per}} \right] \\
 & + 1.7 \left[-41 \frac{(EBV_{scs} - AVG_{scs})}{SD_{scs}} + 34 \frac{EBV_{frc}}{SD_{frc}} + 25 \frac{EBV_{drc}}{SD_{drc}} \right]
 \end{aligned}$$

ここで、EBV: 育種価、SD: 育種価の標準偏差、fat: 乳脂量、prt: 無脂固形分量、dlo: 在群能力($\times 10^2$)、udc: 乳房成分、flc: 肢蹄成分、bwc: 体重成分、per: 泌乳持続性、scs: 体細胞スコア、frc: FRC および drc: DRCである。SD_{fat}、SD_{prt}、SD_{dlo}、SD_{udc}、SD_{flc}、SD_{bwc}、SD_{per}、SD_{scs}、SD_{frc} および SD_{drc} はそれぞれ 19.51、13.20、4.857、0.594、0.873、0.841、1.184、0.243、0.848 および 0.626 である。AVG_{scs} は体細胞スコアの育種価の平均値である。

表 23-5 には試作2のNTPを使用した計算例を示した。この計算例ではNTPが2,112になった。

5. NTPの利用方法

近年、乳牛改良に利用される選抜指数は、泌乳形質と生産寿命の両方を同時に改良することが望まれるようになった。泌乳形質とは対照的に生産寿命の関連する形質は非常に多岐にわたっている。生産寿命の延長と関係のある形質は20年程前まで体型形質くらいしかなかったが、徐々に遺伝評価される形質が増え、体細胞スコア、繁殖性および在群能力のような様々な形質で選抜できるようになった。また、本分析では生産寿命の延長に効果がある耐病性の遺伝評価の可能性を示すことができた。これらの形質を組み合わせると、選抜指数式に占める生産寿命の形質数は非常に多くなり、産乳形質に対する重みを低くせざるを得なくなる。一方、泌乳形質と生産寿命との間には負の関係があり、乳量や乳成分量の反応量を維持しながら生産寿命に関連するすべての形質を望ましい方向に改良するのは至難の業である。酪農先進国で使用している選抜指数は産乳形質の重みを最低でも40%以上にするこことで、泌乳形質の改良量を確保している。

表23-5. 新しく開発されたNTPの計算例

	重み	EBV(成分値)	EBVのSD	EBV×重み/SD	
乳脂量	6.0 × 43	258	59	19.51	780
乳タンパク質量	6.0 × 57	342	42	13.20	1,088
在群能力 $\times 10^2$	2.3 × 44	101	2.85	4.857	59
乳房(UDC)	2.3 × 24	55.2	0.49	0.594	46
肢蹄(FLC)	2.3 × 10	23.0	0.93	0.873	25
体重(BWC)	2.3 × 20	46.0	-0.77	0.841	42
泌乳持続性	2.3 × 2	4.6	1.05	1.184	4
体細胞スコア	1.7 × 41	69.7	-0.37	0.243	106
繁殖性(FRC)	1.7 × 34	57.8	-1.10	0.848	-75
耐病性成分(DRC)	1.7 × 25	42.5	0.54	0.626	37
合計(NTP)					2,112

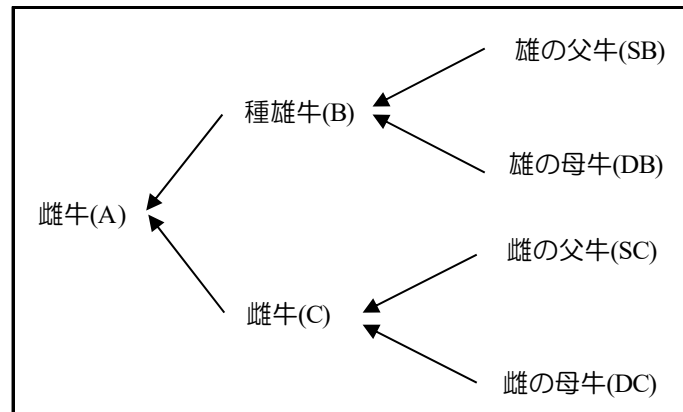


図23-3. 選抜の4経路

乳牛は種雄牛と雌牛で選抜強度、選抜に使用する育種価の信頼度、さらに世代間隔が異なることから、育種計画は上図のように4つの経路に分けて検討します。

本事業では、泌乳形質と生産寿命の両方を効率よく改良するため、NTPと長命連産効果を見直してリニューアルした。乳牛改良において最も重視すべき形質は泌乳形質であるから、SB経路とDB経路(図2-3)、すなわち種雄牛の選抜にはNTPを利用することが望ましいと考えられる。すなわち、NTPを使用して生産寿命の延長を考慮しながら、乳量の反応量で100kg/年程度が期待できる種雄牛を選抜する。

一方、SC経路の選抜、すなわち酪農家が雌牛を生産するための選抜にはNTPと長命連産効果の2つの選抜指数を選択することが可能である。雌牛に対する供用種雄牛をNTPで選抜した場合、泌乳能力の改良を優先するとともに生産寿命の延長が期待できる種雄牛が選択され供用されることになる。NTPで選抜された供用可能種雄牛を長命連産効果で序列を変えることで、泌乳能力の遺伝的レベルを維持しながら生産寿命の延長に貢献できる種雄牛を選ぶこともできる。近年のように乳生産量の増産を簡単にできない社会状況では、長命連産効果を利用した選抜により生産寿命の改良を進めながら、増産体制に転じるのを待つのも良いであろう。このように酪農家は2つの選抜指数を使い分けながら供用種雄牛の選抜を効率よく進めることができる。

付表23-1. 泌乳形質と生産寿命、繁殖性、体型および耐病性に関する各形質との遺伝相関

	乳量	乳脂量	無脂固 形分量	乳タンパ ク質量	乳脂率	乳タンパ ク質率
体細胞スコア	0.063	0.028	0.040	0.064	-0.033	-0.022
泌乳持続性	0.259	-0.184	0.264	0.046	-0.405	-0.353
在群期間84(THL84)	-0.100	-0.039	-0.076	-0.064	0.057	0.086
生産期間84(TPL84)	-0.056	-0.013	-0.033	-0.030	0.040	0.062
在群能力	-0.197	-0.132	-0.173	-0.147	0.068	0.127
空胎日数	0.411	0.342	0.402	0.349	-0.083	-0.204
経産受胎率	-0.382	-0.328	-0.371	-0.326	0.072	0.192
未経産受胎率	-0.075	-0.065	-0.085	-0.086	0.021	0.023
体貌と骨格	0.070	0.051	0.088	0.094	-0.024	0.010
肢蹄	-0.058	-0.039	-0.029	0.016	0.017	0.117
乳用強健性	0.325	0.323	0.344	0.339	-0.035	-0.092
乳器	-0.037	-0.022	-0.007	-0.002	0.006	0.053
決定得点	0.040	0.049	0.074	0.090	-0.003	0.050
高さ	0.049	0.017	0.070	0.087	-0.030	0.035
胸の幅	0.061	0.054	0.094	0.116	-0.012	0.061
体の深さ	0.161	0.175	0.183	0.191	-0.002	-0.006
鋭角性	0.411	0.410	0.418	0.400	-0.037	-0.153
尻の角度	0.055	-0.015	0.046	0.039	-0.064	-0.037
坐骨幅	0.085	0.075	0.111	0.128	-0.017	0.028
後肢側望	0.078	0.147	0.083	0.095	0.046	-0.017
後肢後望	-0.032	-0.051	-0.031	-0.027	-0.026	0.024
蹄の角度	0.031	-0.008	0.052	0.053	-0.036	0.024
歩様	-0.112	-0.044	-0.085	-0.035	0.081	0.167
乳房の付着	-0.212	-0.135	-0.193	-0.173	0.084	0.118
後乳房の高さ	0.084	0.038	0.089	0.071	-0.050	-0.046
後乳房の幅	0.441	0.305	0.460	0.445	-0.167	-0.134
乳房の懸垂	0.097	0.010	0.095	0.060	-0.081	-0.078
乳房の深さ	-0.344	-0.277	-0.337	-0.328	0.089	0.133
前乳頭の配置	-0.017	0.026	-0.020	-0.026	0.041	-0.004
前乳頭の長さ	0.028	-0.053	0.029	-0.001	-0.077	-0.044
後乳頭の配置	0.075	0.071	0.068	0.057	-0.008	-0.052
乳房の傾斜	-0.157	-0.055	-0.149	-0.152	0.095	0.061
BCS	-0.362	-0.352	-0.333	-0.291	0.041	0.219
第四位変異	-0.083	-0.051	0.037	-0.031	0.098	0.094
子宮内膜炎	-0.336	-0.141	0.160	-0.267	0.134	0.122
乳房炎	-0.360	-0.172	0.182	-0.288	0.204	0.289
乳熱	-0.294	-0.255	0.144	-0.349	0.017	0.051
胎盤停滞	-0.102	-0.078	-0.021	-0.100	-0.091	0.001
産褥熱	-0.111	0.037	0.149	-0.034	0.155	0.097
ケトーシス	-0.230	-0.168	0.099	-0.067	0.266	0.287
肢蹄病	-0.208	-0.075	0.136	-0.164	0.150	0.134

付表23-2. 耐久性成分と疾病繁殖成分に関する形質間の遺伝相関

	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15
2 泌乳持続性	-0.295													
3 空胎日数	.184	.074												
4 経産受胎率	-.222	-.074	-.894											
5 THL84	-.456	.127	-.477	.489										
6 TPL84	-.456	.170	-.046	.469	.996									
7 在群能力	-.433	.047	-.706	.676	.975	.970								
8 未経産受胎率	-.019	-.097	-.523	.703	.120	.119	.232							
9 第四位変異	-.045	-.074	.200	-.069	.246	.264	.296							
10 子宮内膜炎	-.244	-.080	.465	-.189	.442	.463	.470	.009						
11 乳房炎	-.809	.139	-.180	.191	.651	.653	.624	-.024	.003					
12 乳熱	-.057	-.083	-.068	-.042	.021	.063	.276	-.004	.001	-.009				
13 胎盤停滞	-.121	-.047	.206	-.188	.172	.170	.215	-.006	.009	-.014	-.007			
14 産褥熱	.065	-.138	.190	-.233	.272	.272	.395	-.019	.012	-.041	-.016	-.014		
15 ケトーシス	-.241	-.093	.174	-.166	.575	.587	.528	-.005	-.001	-.025	-.009	-.005	-.018	
16 肢蹄病	-.266	.102	.169	-.230	.542	.528	.606	.005	.005	-.013	.004	-.002	-.001	.000

付表23-3. 各指数で選抜した時に得られた各形質の反応量の推定

	長命連産効果		NTP(総合指数)			
	現在	新	NTP ₂₀₂₂	試作1	試作2	試作3
乳量	35.1	75.9	110.2	101.6	102.7	107.7
乳脂量	1.94	3.31	5.21	5.43	5.43	5.46
無脂固形分量	3.82	8.18	10.09	10.43	10.51	9.80
乳タンパク質量	1.51	2.42	4.11	3.92	3.94	3.99
乳脂率	0.004	0.002	0.006	0.011	0.011	0.009
無脂固形分率	0.009	0.000	0.006	0.005	0.005	0.005
乳タンパク質率	0.004	0.000	0.005	0.006	0.006	0.005
体細胞スコア	-0.062	-0.056	-0.026	-0.037	-0.037	-0.034
泌乳持続性	0.064	0.068	0.026	0.004	0.008	0.013
空胎日数	-2.208	-1.049	0.037	0.201	0.226	-0.143
経産受胎率	0.822	0.590	-0.031	0.018	0.007	0.148
未經産受胎率	0.182	0.436	0.041	0.179	0.174	0.206
在群期間84(THL84)	1.417	1.164	0.650	0.790	0.783	0.705
生産期間84(TPL84)	1.198	0.976	0.497	0.686	0.682	0.612
在群能力	1.890	1.560	0.732	0.950	0.938	0.825
体貌と骨格	0.031	-0.024	0.047	-0.005	-0.005	0.002
肢蹄	0.055	0.029	0.050	0.024	0.024	0.025
乳用強健性	-0.035	-0.031	0.067	0.017	0.018	0.027
乳器	0.098	0.059	0.084	0.044	0.044	0.049
決定得点	0.067	0.027	0.077	0.029	0.029	0.035
高さ	0.006	-0.031	0.034	-0.014	-0.014	-0.008
胸の幅	0.002	-0.022	0.010	-0.010	-0.010	-0.008
体の深さ	-0.011	-0.033	0.014	-0.010	-0.010	-0.007
鋭角性	-0.022	-0.010	0.030	0.012	0.012	0.017
尻の角度	0.019	0.004	0.008	0.003	0.003	0.004
坐骨幅	-0.012	-0.021	0.013	-0.006	-0.006	-0.005
後肢側望	-0.024	-0.005	-0.004	0.001	0.001	0.001
後肢後望	0.015	0.003	0.010	0.002	0.002	0.004
蹄の角度	0.005	-0.001	0.006	0.000	0.000	0.000
歩様	0.021	0.015	0.018	0.011	0.011	0.011
乳房の付着	0.041	0.019	0.020	0.006	0.006	0.007
後乳房の高さ	0.021	0.021	0.033	0.018	0.018	0.021
後乳房の幅	0.000	0.003	0.030	0.019	0.020	0.022
乳房の懸垂	-0.004	-0.007	0.003	-0.004	-0.004	-0.001
乳房の深さ	0.042	0.010	0.005	-0.018	-0.018	-0.016
前乳頭の配置	0.000	-0.002	0.006	-0.001	-0.001	0.001
前乳頭の長さ	-0.009	-0.021	-0.012	-0.017	-0.017	-0.016
後乳頭の配置	-0.012	-0.003	0.003	0.001	0.001	0.001
乳房の傾斜	0.007	-0.007	-0.001	-0.009	-0.009	-0.007
BCS	0.042	0.007	-0.013	-0.009	-0.009	-0.014
第四位変異	0.333	0.146	0.019	0.072	0.070	0.069
子宮内膜炎	0.085	0.048	-0.039	-0.009	-0.009	-0.012
乳房炎	1.941	1.430	0.237	0.328	0.320	0.334
乳熱	0.006	0.002	-0.020	-0.014	-0.014	-0.014
胎盤停滞	0.024	0.003	-0.008	-0.005	-0.005	-0.006
産褥熱	0.198	0.092	-0.015	0.039	0.038	0.033
ケトーシス	0.208	0.085	0.007	0.028	0.027	0.020
肢蹄病	0.405	0.229	0.023	0.071	0.070	0.063
乳房成分(UDC)	0.088	0.045	0.055	0.018	0.017	0.023
肢蹄成分(FLC)	0.169	0.105	0.147	0.082	0.082	0.082
体重成分(BWC)	-0.008	-0.078	0.046	-0.030	-0.029	-0.021
体の大きさ成分(BSC)	0.023	0.017	0.012	0.009	0.009	0.010
繁殖性成分(FRC)	0.152	0.146	0.002	0.026	0.023	0.049
耐病性成分(DRC)	0.327	0.180	-0.022	0.029	0.028	0.022

第24章 総合的改良情報を開示するためのシステム開発

1. はじめに

本事業において開発された総合指数、長命連産効果および疾病形質の遺伝評価値を効率的に活用するためのシステムを開発した。

2. システムの概要

本システムは、個体ごとの遺伝評価成績だけでなくハプロタイプによる遺伝因子の保因状況、牛群の遺伝的レベル等の集計値も参照できるので総合的な牛群改良に活用できる。本報告においては、機能の一部を紹介する。

トップ画面

日本中央競馬会
特別振興資金助成事業

GenUSへのログイン

会員番号: ---

パスワード:

雌牛情報の検索

登録番号:

種雄牛評価値の検索

お知らせ

- このシステムは開発中です。
- 最終データ更新: **2022年10月25日**
 - 未経産追加(牛群): 2022年10月25日
 - 未経産追加(速報): 2022年10月20日
 - ハプロタイプ更新: 2022年10月6日
 - 海外種雄牛公表: 2022年8月9日
 - 国内種雄牛公表: 2022年8月2日
 - 公式評価一括更新: 2022年8月2日

一般社団法人日本ホルスタイン登録協会

雌牛ごとの情報検索(速報)

雌牛遺伝評価情報			
登録番号	: 16XXX 492X X	生年月日	: 2021.12.30
名号	: 麒麟の 蘇-う 7777777777777777	近交係数	: 10.59%
HH1F	HH2F	HH3F	HH4F
HH5F	HPOF	品種	: HOL
遺伝評価成績 (2022年08月公表) - ゲノミック評価値 (GPI)			
総合指数	G +1877	(%R)	0
産乳成分	+1804	(%R)	7
耐久成分	+120	(%R)	68
疾病繁殖成分	-47	(%R)	83
乳代効果	+118908	(%R)	5
長命連産効果	+42014	(%R)	41
泌乳形質 (%R)			
乳量	+935kg (54)	9	
乳脂量	+65kg (59)	7	
無脂固形分量	+69kg (26)	13	
乳タンパク質量	+37kg (45)	10	
乳脂率	+0.32%	(83)	
無脂固形分率	+0.20%	(46)	
乳タンパク質率	+0.08%	(81)	
体細胞スコア	1.92	(47)	
泌乳持続性	+1.95	(21)	
繁殖形質 (%R)			
空胎日数	156日 (55)		
未經産娘牛受胎率	52% (36)		
初産娘牛受胎率	32% (45)		
繁殖性成分	+0.62		
疾病形質 (%R)			
第四胃変位	-1.00 (46)		
子宮内膜炎	+0.62 (19)		
臨床性乳房炎	+0.53 (33)		
乳熱	+1.95 (42)		
胎盤停滞	-1.00 (46)		
産褥熱	+0.62 (19)		
ケトosis	+0.53 (33)		
肢蹄病	+1.95 (42)		
耐病性成分	+1.23		
管理形質 (%R)			
在群能力	-1.00 (46)		
暑熱耐性	+0.62 (19)		
決定得点	+0.89 (49)	15	
体貌と骨格	+0.53 (38)	26	
肢蹄	+0.39 (41)	21	
乳用強健性	+0.66 (38)	14	
乳器	+0.75 (50)	33	
高さ	+1.50 (72)		
胸の幅	+2.23 (55)		
体の深さ	+1.92 (63)		
鋭角性	+1.11 (54)		
B C S	-0.33 (57)		
尻の角度	+0.53 (61)		
坐骨幅	+2.18 (56)		
後肢側望	-0.23 (53)		
後肢後望	+0.26 (43)		
蹄の角度	+1.70 (43)		
歩様	+0.96 (54)		
前乳房の付着	+0.66 (54)		
後乳房の高さ	+2.10 (46)		
後乳房の幅	+0.56 (25)		
乳房のけん垂	-1.22 (44)		
乳房の深さ	+0.60 (62)		
乳房の傾斜	+1.25 (30)		
前乳頭の配置	+1.60 (62)		
後乳頭の配置	-0.16 (57)		
前乳頭の長さ	-0.47 (60)		
乳房成分	+1.60		
肢蹄成分	+1.25		
体の大きさ成分	+1.60		
体重成分	-0.16		
気質	100 (33)		
搾乳性	101 (42)		

令和5年3月7日
一般社団法人日本ホルスタイン登録協会

本システムは、牛群ごとの利用を想定しているが、データ作成と更新までのタイムラグを解消するため、遺伝評価データの到着後直ちに個々の雌牛の遺伝的能力を参照できるよう、個体ごとの検索機能を設けている。

システムへのログイン（トップ画面：左-PC用、右-スマホ用）



本システムは、通常のパソコンだけでなく、一部機能が制限されるがスマートフォンでも利用可能である。

雌牛リスト画面

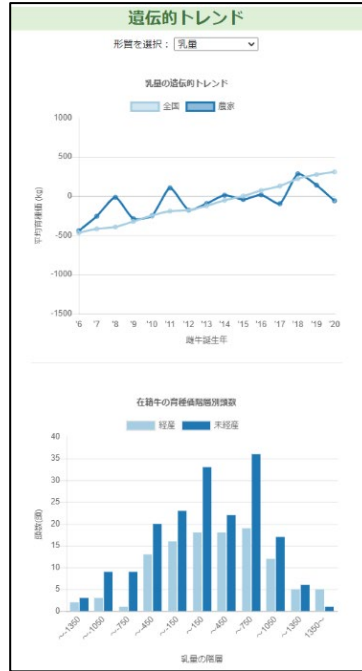
雌牛リスト										
表示項目を選択		独自の指数を作成								
登録番号	評価種別	総合指数	独自指数	PrNTP	乳量	決定得点	空胎日数	在群能力	生年月日	
15XXX 2653	3 GPI	+3005	+2050	+2863	+778	+1.32	129	+3.52	2022/04/14	
16XXX 2526	9 GPI	+2693	+1369	+2391	+282	+0.32	132	+2.29	2021/03/28	
14XXX 2369	0 GBV	+2686	+1662	+2340	+1080	+1.50	133	-0.67	2019/10/04	
15XXX 2621	2 GPI	+2608	+1876	+2428	+644	+0.66	120	+1.56	2021/12/15	
14XXX 2367	6 GBV	+2595	+1591	+2450	+124	+1.51	129	+1.27	2019/09/27	
16XXX 2564	1 GPI	+2581	+1774	+2413	+830	+1.06	126	+1.92	2021/08/29	
15XXX 2645	8 GPI	+2530	+1549	+2371	+468	+0.15	128	+3.83	2022/03/17	
14XXX 2681	0 GPI	+2501	+1282	+2275	+36	+0.61	137	+2.60	2022/06/04	
15XXX 2657	1 GPI	+2444	+1718	+2280	+495	+0.64	117	+2.60	2022/05/03	
16XXX 2552	8 GPI	+2428	+1377	+2247	+591	+0.45	135	+2.67	2021/07/20	

雌牛リスト画面では、登録番号や総合指数の他、各形質の評価成績、生年月日等、参照したい項目を選択してリスト表示することができる。また、各遺伝評価形質の重みを独自に設定して指数を作成し順位付けすることができる。

牛群レベル画面



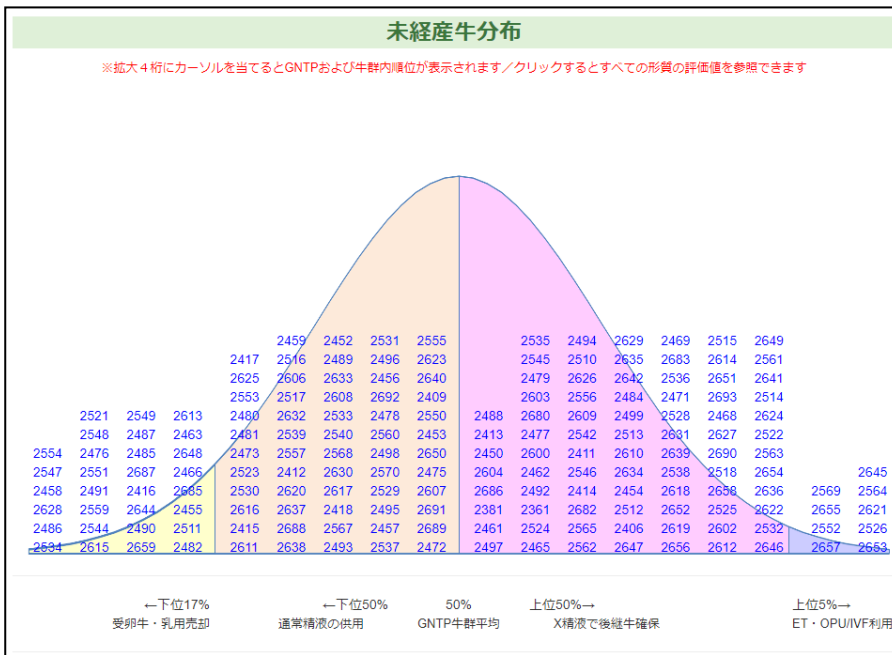
改良状況の推移



牛群レベル画面では、リーダーチャートにより疾病形質（8形質）および6つの形質を選択して在籍牛の遺伝的レベルを参照できる。在籍牛の遺伝評価成績の平均値も記載される。

また、過去14年分の所有牛による改良状況の推移（遺伝的トレンド）と在籍牛の遺伝的能力の分布を評価形質ごとに参照できる（形質を選択）。

GNTPによる未経産牛の分布（牛群内順位）



GNTPによる未経産牛の分布画面は、本会が実施している自動登録同時SNP検査の申込み農家への提供情報である。

未経産牛を全頭SNP検査することで、個々の未経産牛の牛群内順位が分かる。この画面では、GNTPによって順位付けされた未経産牛の拡大4桁が正規分布の画像上に記載されている。

正規分布画像は、GNTPのレベルによって4つの区分に分類して色分けされ、各区分に該当する未経産牛の活用方法についての記述も記載されている。遺伝的レベルが平均より高いグループ（分布の右半分）は、積極的に後継牛を残すため性選別精液を利用することが望ましい。特に遺伝的レベルが高い上位5%程度は、供卵牛としての活用が期待できる。一方、平均よりも低い未経産牛（分布の左半分）は、通常精液の利用、特に遺伝的レベルの低いグループは、受卵牛としての活用または黒毛精液を使用してなるべく子孫を残さないようにするなどの活用方法が期待できる。

雌牛の遺伝情報画面

雌牛遺伝評価・遺伝子保因情報			
登録番号: 15000 2653	生年月日: 2022.04.14	性別: ♀	種別: 乳用種
母: 2213001110	父: 1400024024	出生地: 10.03	
遺伝評価成績 (2022年8月公表)			
総合指数 (GNTP)	+3,005	▲	
乳性指数 Y	+110,699	▲	
胎産指数 Y	+139,138	▲	
産乳成分			
乳量 (kg)	+778 (43)	▲	
乳脂肪 (kg)	+76 (36)	▲	
固形成分 (kg)	+83 (28)	▲	
乳タンパク質 (kg)	+38 (28)	▲	
乳脂率 (%)	+0.48 (31)	▲	
固形成分率 (%)	+0.24 (48)	▲	
乳タンパク質率 (%)	+0.12 (38)	▲	
耐久性成分			
高産	+0.25 (38)	▲	
胎心臓	+0.22 (48)	▲	
胎心臓	+0.20 (38)	▲	
胎心臓	+1.37 (44)	▲	
B C S	-0.34 (48)	▲	
胎心臓	-0.09 (31)	▲	
胎心臓	+1.12 (48)	▲	
胎心臓	-0.63 (41)	▲	
胎心臓	-1.46 (28)	▲	
胎心臓	+1.78 (38)	▲	
胎心臓	+1.12 (48)	▲	
胎心臓	+3.97 (43)	▲	
胎心臓	+3.01 (31)	▲	
胎心臓	+0.96 (28)	▲	
胎心臓	-1.75 (32)	▲	
胎心臓	+2.36 (34)	▲	
胎心臓	+1.62 (38)	▲	
胎心臓	+1.55 (38)	▲	
胎心臓	+0.06 (48)	▲	
胎心臓	-2.46 (32)	▲	
胎心臓	+0.12 (38)	▲	
胎心臓	+0.45 (28)	▲	
胎心臓	+0.18 (38)	▲	
胎心臓	+1.74 (37)	▲	
胎心臓	+1.32 (38)	▲	
胎心臓	+3.97	▲	
胎心臓	+3.01	▲	
胎心臓	-1.46	▲	
胎心臓	-1.75	▲	
胎心臓	+1.87 (21)	▲	
胎心臓	+3.52 (38)	▲	
胎心臓	102 (13)	▲	
胎心臓	102 (28)	▲	
胎心臓	+0.44 (18)	▲	
産乳量成分			
胎心臓	1.46 (34)	▲	
胎心臓	+0.22 (48)	▲	
胎心臓	+0.20 (38)	▲	
胎心臓	+1.37 (44)	▲	
胎心臓	-0.34 (48)	▲	
胎心臓	-0.09 (31)	▲	
胎心臓	+1.12 (48)	▲	
胎心臓	-0.63 (41)	▲	
胎心臓	-1.46 (28)	▲	
胎心臓	+1.62	▲	
胎心臓	61 (18)	▲	
胎心臓	45 (28)	▲	
胎心臓	129 (44)	▲	
胎心臓	+2.36	▲	
遺伝子保因状況			
SNP型: H10 H4L H1Q H1C H4H H1S H1N H1D H1L H1V H1P H1F H1Q H1C			
A2942P: F F F F F C S			
遺伝子型: BY HL H2 HD HH HS H6 H7 BLAD CVM DUMPS 車庫 胎心 劣化 CD			

雌牛リスト画面およびGNTPによる未経産牛の分布画面から登録番号をクリックすると雌牛ごとの遺伝情報画面が開く。

雌牛の遺伝情報画面では、各形質の遺伝評価成績、信頼度、パーセンタイルランク等、公表値のすべての数値を参照できる他、標準化育種価による棒グラフが表示されるので、形質間の優劣を視覚的に判断することができる。

さらに、胚致死性関連の遺伝因子や無角の遺伝子型についてハプロタイプによって推定された保因状況も参照できる。

第25章 本事業の成果と今後の展望

(1) 疾病データの収集調査

本分析では疾病形質の遺伝評価システムを確立するため、疾病データを所有する全国5道県の農業共済組合の協力を得ることができた。その結果、北海道から熊本までの広い範囲の疾病データを収集調査することができた。本事業で収集した疾病データ調査は、はじめてのこともあり遺伝評価への利用が可能なデータなのかを確認する作業から実施した。疾病に関する記録は過去10年程度まで遡ることができ、約241万記録の提供を受けることができた。そのうち比較的古い記録は個体識別番号等が不明なデータが多く含まれ実際に分析に利用できたのは約33万記録であった。しかし、疾病データの分析には十分利用できることが明らかになった。さらに耐病性の遺伝評価を推進するためには継続的にデータを編集・整理し、いつでも調査分析等に活用できるようデータベースの構築が必要と考えられた。また、本事業では5道県の農業共済組合から協力を得たが、さらに多くの農業共済組合および個人営業の家畜診療所等の協力により日本全国のデータを広範囲に収集することで、信頼性の高い耐病性の遺伝評価が可能になると推察された。

(2) SNP タイピングの実施

本事業では当初から疾病形質を全国的に網羅して収集することは至難であると考えていた。そのため、SNP 情報を利用して間接的に耐病性を遺伝評価(ゲノミック評価)できないかを検討するため、疾病データを保有する雌牛のSNP タイピングを実施した。疾病記録とSNP 情報を保有する雌牛およびSNP 情報を保有する父牛の各集団(参照集団)を使用してSNP 効果を推定することができれば、疾病記録がなくてもSNP タイピングを行えば耐病性のゲノミック育種価を推定することが可能になる。参照集団が大きくなれば、耐病性のゲノミック育種価は信頼度が上昇することから、本事業では積極的にSNP タイピングを実施した。その結果、SNP タイピングは本事業の計画どおり実施することができた。

今後の展望としては、補助事業に頼らずSNP タイピングの有用性を酪農家が理解し普及推進することが課題である。特にSNP 情報を活用して耐病性のような酪農産業にとって有益な形質の遺伝評価が可能になれば、SNP タイピングを積極的に実施する酪農家が増加するものと推察された。

(3) 耐病性の遺伝的改良手法の研究開発

前述のとおり、本事業の調査研究は農業共済組合に集積された既存の疾病データを使用し、遺伝的パラメータの推定、ゲノミック評価精度の検証およびGWAS 分析等の一連の研究から耐病性の遺伝評価(ゲノミック評価)が可能であることを示すことができた。しかし、育種価を実用化するためにはさらに信頼度の向上が求められる。それゆえ、日本全国のより広範囲から疾病データの提供を求めるとともにSNP タイピングの普及推進に努めなければならない。

乳牛が罹患する疾病は多種類存在するが、本事業ではその中で比較的出現頻度が高く、経済的に大きな損失を被ると推測される8種の疾病形質を選ぶことができた。加えて、本事業では8種類の耐病性形質を選択し、それらの育種価を組み合わせた耐病性成分(または耐病性指数ともいう)を開発した。耐病性成分による選抜は8種類の疾病に対し、効率よく潜在的抵抗性を強くすることができるものと

期待される。なお、耐病性成分の実用化には、定期的なデータの受け入れ・編集から育種価の推定までルーチン的に一連の作業が連続して可能な疾病形質の遺伝評価システムが必要であり、その開発作業の円滑かつ早急な進展が課題となろう。

(4) 総合的改良指標の研究開発

本事業では最新の知見に基づき NTP(総合指数)と長命連産効果をリニューアルすることができた。NTP は国の家畜改良増殖目標に従い見直しが行われ、泌乳能力に対する重みを 60%と大きくしたことが最大の特徴である。NTP は種雄牛の選抜に利用することで、泌乳能力と生産寿命の改良目標を達成できるものと推察される。

一方、長命連産効果は酪農家に利益をもたらす遺伝的能力とし、円の単位で表示した指数である。長命連産効果は泌乳形質の重みを NTP よりも低くしたが、生産寿命の延長によりもたらされる利益も考慮した指数である。酪農家が雌牛に供用する種雄牛は NTP の他に長命連産効果や乳代効果でも選抜できることから、3 種の指数を酪農家個々の改良方針に沿って選択することで、供用種雄牛の利活用の幅が広がるものと考えている。

なお、今回リニューアルされた NTP と長命連産効果には新しく開発した耐病性成分が含まれている。それゆえ、耐病性成分のより早い実用化が望まれるところであるが、そのシステム開発には数年を要する可能性もあるので、本事業では耐病性成分を含まない NTP と長命連産効果を開発した。NTP₂₀₂₂ による選抜では耐病性成分が負の方向に反応する可能性があり、NTP の改正により早急な選抜計画の見直しが必要と考えられた。

(5) 総合的改良情報システムの開発と普及推進

本事業ではゲノミック評価を普及し生産性と生産寿命の遺伝的改良を促進するため、遺伝改良情報をモデル的に作成した。具体的には新たに研究開発した耐病性指数並びに新しく見直しが行われた NTP と長命連産効果をリアルタイムで利用できるように、インターネットを利用した遺伝改良情報をモデル的に作成した。

この遺伝改良情報は、本事業でデータ利用の協力が得られた酪農家を対象に、遺伝情報の還元を試行するために開発された。Web 画面には各牛群の遺伝的特徴を的確に把握できる工夫が凝らされており、酪農家の改良方針に従って選抜を推奨する雌牛および子孫を残さず淘汰を推奨する雌牛などが明示されるので、実践的な乳牛改良にこだわった力作である。なお、本事業で開発した改良情報を実際に酪農現場に還元して得られる効果を確かめるには、改良関係団体と然る可き手続きを踏みながら協議して進めていきたいと考えている。

1 事業の目的

(1) 必要性・緊急性

わが国の酪農生産基盤は酪農家戸数の減少とともに飼養頭数も減少する状況が続いてきたが、ここにきて性選別精液の活用・普及などの影響もあり飼養頭数が増える傾向にあり、令和元年度は4年ぶりに生乳生産量の増産も見込まれているようだ。しかし、ひとたび地震や暴風雨等の予測できない大きな自然災害が発生すれば、その見通しも危うくなるなどわが国の酪農生産基盤の弱体化が危惧される。加えて、乳用雌牛の飼養頭数は確かに増加しているが、それは2歳未満の雌牛が46万8,900頭(前年比4.9%)と増加しているためであり、2歳以上の経産牛は86万2,700頭と前年比4.9%減少している。特に、この傾向は都府県において顕著であり、供用年数の延長などによる搾乳牛の確保が重要な課題と言える。

関係機関や関係者の努力にもかかわらず、特に経産牛の生産寿命の低迷が続いており、牛群内の平均産次数はここ10年間を見ても上昇する兆しが見えない状況にある。今後、後継牛不足を補い搾乳牛を確保していくためには、泌乳能力や体型の改良だけでなく、繁殖性や耐病性のような形質の遺伝的改良を通じて、長命連産性をさらに向上するためこ入れが必要と考えられる。

耐病性は、遺伝率が0.1未満と低いことから多くの娘牛データがなければ精度の高い育種価が推定できず、そのためひと昔前までは飼養管理技術等の改善によって対応する方法しかなかった。しかし、北米地域ではSNP(一塩基多型)検査の普及に伴い、疾病形質のゲノミック育種価(GEBV)を利用して遺伝的に耐病性に優れた種雄牛をより正確に選抜できるようになり、その改良量が具体的に得られている。

酪農経営や乳用牛の生産寿命に関係する重要な疾病形質としては、臨床型乳房炎、ケトーシス、胎盤停滞、子宮内膜炎、第四胃変位、乳熱(低カルシウム血症)及び各種の肢蹄病等が挙げられる。しかし、わが国のSNP検査は、2013年の開始から今年で6年が経過したが、疾病形質のゲノミック評価並びに疾病に関する遺伝的改良の基礎的研究はほとんど行われていない。また、ゲノミック評価の精度向上には国内で供用中のより多くの種雄牛についてSNP検査を行うことが非常に役立つ。登録協会では国内で検査したすべてのSNPデータベースを管理しているが、輸入精液により供用された海外種雄牛のSNP情報は未だ十分に集積しているとは言いがたく、ゲノミック評価の調査研究にとっての課題といえる。

世界の酪農産業がゲノミックの時代に突入する中、耐病性等の新しいGEBVを持つ海外種雄牛の精液が輸入されつつあり、国産種雄牛と海外からの輸入精液の競合がさらに激化することが予想される。一方、わが国のゲノミック評価情報では、酪農家に還元される遺伝情報は北米地域と比較して、還元形質等が充実していないこともあって、近年はSNP検査を海外に求める傾向が顕著になっている。そのため、国内乳用牛のSNP情報が海外に流出する現象に歯止めがかからず、早急な対応が求められている。

このような国内外の情勢の中、登録協会は平成29年度から3年間の計画でJRL補助事業により、体型の遺伝的改良を推進し、特に最適な体サイズに改良することで生産寿命を延長させるための体のサイズ指数を開発し、さらにロボットやパーラー搾乳及び放し飼い牛舎(フリーストール/バーン農家)に適応した肢蹄を改良するために歩様を含めた肢蹄指数の研究開発を行ってきたが、泌乳能力の向上や生産寿命の延長に効率よく貢献できるNTP及び長命連産効果を抜本的に見直す研究までには至らなかった。

そこで、本事業では生産性・長命連産性の改良に役立つ耐病性のゲノミック評価法を

研究し、数種の疾病のGEBVを使用して耐病性指数の開発を行う。次に、NTPを乳用牛の家畜改良増殖目標を実現するための選抜指数として位置付けし、海外輸入精液の遺伝能力にも劣ることなく、生産性及び長命連産性をバランスよく改良できる優秀な種雄牛を効率よく選抜するための強力な道具として、NTPの抜本的見直しの研究を行う。また、長命連産効果は酪農経営の収益性を遺伝的に改良する、いわば搾乳牛集団の改良指標として位置付けし、従来通り酪農家が理解し易いよう「円」の単位で表示する。新しい長命連産効果の開発には特に体のサイズ指数や肢蹄指数の他に、繁殖性や耐病性のような遺伝情報の利用についても研究する。本事業では研究開発した遺伝情報に基づき、生産性並びに長命連産性の向上に必要な情報提供の方法を検討し、遺伝的に優良な乳用牛群の整備や酪農経営の安定及び生産性の向上に役立つ改良手法の普及推進を図る。

酪農基盤の弱体化が進む中、それを防止する一対策として生産性・長命連産性をより効率的に改良するための種畜選抜手法の検討を早急に進める必要があり、それを達成するためにSNP情報の活用、耐病性等の遺伝評価、さらにNTPや長命連産効果の総合的改良指標の見直しは極めて必要性並びに緊急性が高い研究である。

(2) 国の施策との関連性

本事業は、「酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針（平成27年3月制定）」で掲げる生産基盤強化のための取組として、計画的な乳用後継牛の確保並びに供用期間の延長を体型や疾病繁殖の両面から遺伝的改良を達成するための具体策である。また、各種ロボット等の省力化機械の導入や多頭飼育・大規模化が進む中で、乳用牛の飼養管理が急激に変化する中、それに適した遺伝的改良を進めるうえで、NTP及び長命連産効果の見直しは急務である。

また、「家畜改良増殖目標（平成37年の目標値として、平成27年3月制定）」では、一頭当たり乳量・乳成分量の増産、経産牛の供用期間の延長等による長命連産性の向上、ゲノミック評価を取り入れた効率的な種畜の生産、並びに家畜疾病の発生予防及びまん延防止のための衛生管理等を掲げている。そのため、耐病性の遺伝評価法の開発並びにNTPと長命連産効果の見直しに係る研究成果は、「家畜改良増殖目標」の中で示されている目標達成に十分貢献可能な事業内容である。

(3) 新規性・先導性（研究開発事業のみ）

本事業では、SNP情報を活用した最新の技術を活用することで、今まで遺伝的改良が難しかった耐病性に関して、より信頼度の高いゲノミック育種価を推定し、種雄牛の選抜の正確度を高めることが目的の一つである。特に、本事業ではSNP情報を利用して各個体の潜在的な能力としての耐病性を遺伝的に予測することも研究課題としたい。これらの新しい知見に基づく遺伝評価形質を考慮し、酪農現場の改良方針に沿った実用性の高い遺伝情報としてNTPや長命連産効果を抜本的に見直す意味で、研究内容の新規性及び先導性が極めて高い。

2 達成目標

(1) 成果目標

本事業では、先行のJRL補助事業に引き続き、乳用牛の生産性及び長命連産性の潜在的（遺伝的）能力を向上させるため、疾病形質のゲノミック評価法の研究と耐病性指数の開発並びにNTPと長命連産効果の抜本的見直しの研究を行い、同時にこれら指数を使用した実践的選抜により各指数の年当たり改良量を目標とする。新しいNTPと長命連産性効果を使用した種雄牛の選抜により、その最終成果を判断するため、10年後（令和11年）の雌牛集団の305日平均乳量を10,600kg、平均除籍産次数の目標値を

3.44産、遺伝的な目標値として雌牛集団における年当たり改良量を乳量58kg/年と在群期間0.13/年、種雄牛にあつては乳量61kg/年と在群期間0.25/年と設定し、これらを最終成果指標として事業を推進することとする。

中間成果指標では、疾病形質を少なくとも5形質選択して耐病性のGEBVを推定する手法を研究し、これら疾病形質のGEBVを使用して耐病性指数を開発する。また、本事業で開発した耐病性指数並びに抜本的に見直したNTPと長命連産効果は、人工授精師等による利活用を促進するため上位100頭の供用可能な国内種雄牛を、また次世代の種雄牛の母牛となりうる雌牛500頭を序列するために使用することとし、これを中間成果指標とした。

(2) 直接目標

- ①乳牛の生産寿命延長と関連のある数種の疾病形質について、ホルスタインの各雌牛の罹患データとSNPタイピングデータを収集する。
- ②乳牛の生産寿命延長と酪農経営の改善に影響を及ぼす数種の疾病形質を選択し、雄牛と雌牛のGEBVの推定手法並びに耐病性指数を用いた選抜手法を研究開発する。さらに、耐病性指数等を考慮することで、総合的改良指標であるNTPと長命連産効果の抜本的な見直し（改善）を行うための研究開発を行う。
- ③疾病形質のゲノミック育種価並びに新たに開発したNTP並びに長命連産効果を普及啓蒙するとともに、生産寿命の延長に必要な種畜選抜に利活用が容易な遺伝情報を試作し、利用法等を検討する。

3 達成指標

(1) 成果指標

① 最終成果指標

項目	単位	現状（基準）値 （令和1年度）	目標値 （令和9年度）	検証データ等
雌牛集団の 305日平均乳量	kg	9,711 （平成30年集 計）	10,600	牛群検定成績の集 計値による調査
平均除籍産次 数	産	3.32 （平成29年集 計）	3.44	
雌牛の改良量 乳量	kg/年	(過去5年平均) 53	58	家畜改良センター から提供される遺 伝評価成績を使用 した事業実施主体 による集計・調査
在群期間	/年	0.12	0.13	
後代検定種雄 牛の改良量 乳量	kg/年	51	61	
在群期間	/年	0.21	0.25	

【目標設定根拠】

生産性の指標として、牛群検定農家における雌牛集団の305日平均乳量は最近5年間（平成26年度から平成30年度）で年当たり80kg程度増加しているが、新NTPと新長命連産効果を使用した選抜により改良量は約10%上昇する（年当たり平均で90kg）と予測し、事業終了（令和4）年度に生まれた雌牛の305日実乳量を平均

9,940 kg (9,700 kg+80 kg×3年)、それから5年後の令和9年における305日実乳量を平均10,390 kg (9,940 kg+90 kg×5年)に目標を設定した。平均除籍産次数は、平成25年度から平成29年度の5年間において、3.44産から3.32産へ低下しているが、これを平成25年度水準まで改良できるよう最終成果指標の目標値を設定した。

NTPや長命連産効果は乳用牛を選抜するための道具であるから、遺伝的改良の成果としては雌牛集団と後代検定済種雄牛における乳量と在群期間の年当たり改良量で示すこととし、これらをもう一つの最終成果指標の目標値とした。

雌牛集団の現状(基準)値として平成26年から平成30年生まれの改良量は乳量53kg/年及び在群期間0.12/年である(在群期間は単位がないため「/年」と表示)、種雄牛の現状値として平成21年から平成25年生まれの種雄牛の年当たり改良量は乳量51 kg/年及び在群期間0.21/年であった。ゲノミック選抜に加え新NTPと新長命連産効果を選抜に利用することで5年後の年当たり改良量は雌牛で10%、種雄牛で20%程度上昇するものと予測し、雌牛の目標値を乳量58 kg/年と在群期間0.13/年、種雄牛の目標値を乳量61 kg/年及び在群期間0.25/年に設定した。

② 中間成果指標

項目	単位	現状(基準)値 (令和1年度)	目標値 (令和4年度)	検証データ等
疾病形質のGEBVに関する形質数	形質	—	5	事業実績報告書 (自己評価について、推進委員会による審査結果)
耐病性指数、新NTP及び新長命連産効果による供用可能種雄牛と在群雌牛の序列	頭	—	雄牛 100 雌牛 500	事業実績報告書 (自己評価について、推進委員会による審査結果)

【目標設定根拠】

耐病性に関する疾病形質については、最低でも北米地域にてGEBVが公表されている形質を遺伝評価したいので、本事業における中間成果指標の目標値は臨床型乳房炎、ケトーシス、胎盤停滞、子宮内膜炎、第四胃変位、乳熱(低カルシウム血症)及び各種の肢蹄病等の中から5形質を遺伝評価することとした。また、乳牛の遺伝改良は種雄牛の貢献度が非常に高いことから、二つ目の中間成果指標の目標値は、耐病性指数、新NTP並びに新長命連産効果の研究開発の成果として、供用可能な国内種雄牛及び種雄牛の母牛として利用可能な雌牛を序列することとした。

(2) 直接指標

項目	単位	現状（基準）値 （令和1年度）	目標値 （令和4年度）	検証データ等
遺伝情報等の データ収集 疾病データ収 集箇所 SNPタイピ ング	箇所	—	5	事業実績報告書に よる
雌牛	頭	—	3,300	
雄牛	頭	—	1,300	
耐病性指数、N TP及び長命 連産効果の研 究成果(研究成 果報告書)	部	—	300	事業実績報告書に よる
耐病性指数、新 NTP及び新 長命連産効果 の普及推進リ ーフレット作 成配付	部	—	5,000	事業実績報告書に よる
耐病性指数、N TP及び長命 連産効果を活 用した改良情 報	一式	—	情報のWeb画面	事業実績報告書に よる
最終成果報告 書作成	件	—	1	成果物

【目標設定根拠】

耐病性に関する遺伝評価法並びに耐病性指数を開発するため、その基礎的情報である疾病形質データ及びSNPデータを収集する。なお、日本ホルスタイン登録協会が現在管理しているSNPデータを利用することとし、本事業では3年間で不足する雌牛3,300頭分並びに海外種雄牛（輸入精液）1,300頭分をタイピングする。

また、耐病性指数、NTP及び長命連産効果を改良の現場に役立てるため、耐病性指数、新NTP及び新長命連産効果を利用した改良情報を試作する。これらの指数を改良現場に早く定着させ改良の成果を得るため、普及推進のためのリーフレットを作成配付する。さらに、乳用牛の遺伝改良に関する今後の研究に役立てるため、本事業で得られた研究成果を報告書としてまとめる。

4 評価の実施体制等

(1) 評価の実施体制

事業実施主体において自己評価を行い、本事業において学識経験者等で構成する委員会「乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究推進委員会（以下、推進委員会という）」で検証し、承認を得る。

(2) 検証・評価方法

① 最終成果指標

最終成果指標である「雌牛集団の305日平均乳量と平均除籍産次数」の成果については牛群検定成績の集計値、「雌牛と後代検定済種雄牛の乳量と在群期間の年当たり改良量」の成果については独立行政法人家畜改良センターから提供される乳用牛遺伝評価成績を使用し、これらの資料に基づき事業実施主体が集計・調査を行い、その結果を持って検証し、目標の達成度について総合的な評価を行う。

② 中間成果指標

中間成果指標である「疾病形質のGEBVに関する形質数」及び「耐病性指数、新NTP及び新長命連産効果による供用可能種雄牛と在群雌牛の序列」の成果については、推進委員会に事業実施主体が事業結果及び自己評価を提出し、推進委員会は目標の達成度について精査して総合的な評価を行う。

③ 直接指標

直接指標である「遺伝情報等のデータ収集（疾病データの収集团体数とSNP検査頭数）」、「耐病性指数、NTP及び長命連産効果の研究成果（研究成果報告書）」、「耐病性指数、新NTP及び新長命連産効果の普及推進リーフレット作成配付」及び「耐病性指数、NTP及び長命連産効果を活用した改良情報（Web情報）」については事業実施主体が事業結果及び自己評価を行い、それらの成果に基づき、推進委員会が目標の達成度の総合的な評価を行う。

乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究事業実施工程表

区分	事業内容	R2年度				R3年度				R4年度				
		4-6月	7-9月	10-12月	1-3月	4-6月	7-9月	10-12月	1-3月	4-6月	7-9月	10-12月	1-3月	
1. 乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究推進委員会等開催事業 (1) 推進委員会の開催 (2) 事業推進事務	学識経験者等からなる推進委員会を日本ホルスタイン登録協会(東京都中野区)において1回開催し(最終年度2回)、乳用牛耐病性の遺伝改良手法と乳用牛総合的改良指標の研究開発を効率かつ円滑に推進するため、具体的な分析手法及びスケジューリング等について検討を行う。また、初年度に達成目標の確認、最終年度に自己評価の検証を行う。 本事業の円滑な実施を図るため、日本ホルスタイン登録協会(東京都中野区)において推進事務を行う。		○			○							○	
		↓												
2. 乳用牛耐病性の遺伝改良手法研究開発事業 (1) 疾病データ収集調査事業 (2) SNPタイピングの実施事業	乳厚炎、繁殖障害、肢蹄病及び代謝障害の疾病データを円滑に収集するため、農業共済組合等から疾病記録を収集し、これら疾病記録をデータベース化して研究開発に活用するためのシステムを構築する。 血統的に重要な種雄牛でありながらSNP情報が不明な雌牛及び疾病記録の利用についての協力が得られない酪農家から、SNP検査を実施していかない雌牛を対象に、SNP検査を行い遺伝情報の収集を行う。 病歴記録と生産寿命の関係の研究、疾病形質の遺伝的パラメータやSNP情報を活用したゲノミック育種価値の推定とこれらを利用した耐病性指標の開発を行うとともに、指標に基づいた選抜の正確度の検証や生産寿命長い雌牛集団の選抜育成のための飼育を行う。													
		↓												
3. 乳用牛総合的改良指標研究開発事業 (1) 総合的改良指標研究開発事業 (2) 総合的改良情報システムの開発事業 (3) 総合的改良情報の普及推進事業	遺伝的パラメータ及び選抜指数法による調査研究を行い、生産性と長命性を総合的に遺伝改良するため、疾病の遺伝情報(疾病指数等)を含めた新しい総合指数(NTP)及び長命連産効果を研究開発する。 新しく開発した総合指数(NTP)及び長命連産効果を適用し、生産性向上及び長命連産性延長を目的とした実践的乳牛改良情報をWeb上等でセオリアルに運用するためのシステムを開発する。同時に、総合指数(NTP)及び長命連産効果の利用方法を試行する。 生産性向上及び長命連産性延長のため、耐病性指数や新しい総合指数(NTP)及び長命連産効果等の利用促進のリーフレットを作成する。また、今後の研究進展に役立てるために研究成果を取りまとめ、報告書を作成印刷する。													
		↓												

乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究事業

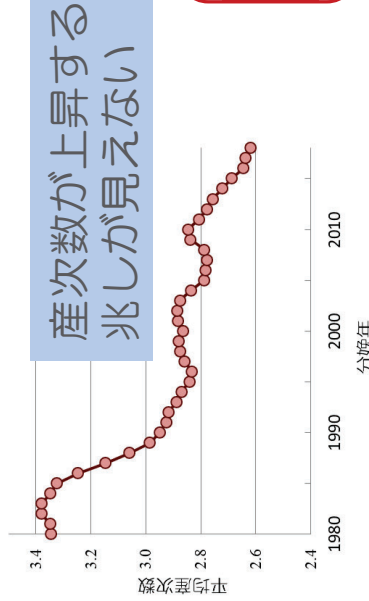
背景・現状把握

事業実施主体：一般社団法人日本ホルスタイン登録協会

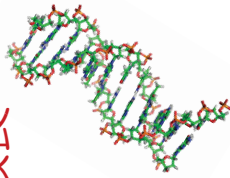


酪農生産基盤弱体化

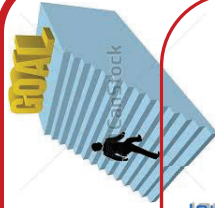
生産性・長命連産性の改良が急務



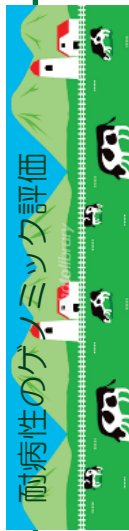
- ◎ 生乳生産の改良
- ◎ 耐久性の改良(乳房・肢蹄・体のサイズ)
- ◎ 疾病繁殖性の改良



SNP(ゲノム)の活用で
疾病形質の遺伝評価・
正確な選抜と改良



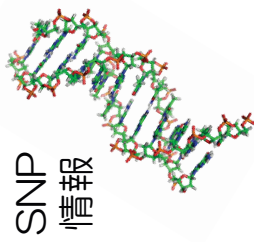
研究開発の目標
耐病性指数の開発
総合指数(NTP)の見直し
長命連産効果の見直し
期待される効果
生産性・長命連産性の改良
SNP検査の普及推進
国産種雄牛の活用促進



SNP検査すれば疾病形質のゲノム評価ができる仕組み

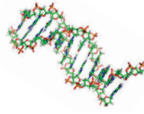


遺伝評価



SNP検査だけで疾病のゲノム評価が可能

SNP効果を利用



SNP検査

SNP→GEBV 推定



耐病性指数・総合指数・長命連産効果の開発

事業実施主体：一般社団法人日本ホルスタイン登録協会



耐病性指数の開発



農業共済組合等の協力依頼 疾病記録を収集

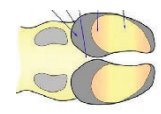
- 乳房炎
- 繁殖障害
- 代謝疾患
- 肢蹄病 等

罹患頻度が高く、経済的損失が大きい
疾病ら形質程度選択



GEVを推定 耐病性指数の開発

$$\boxed{\text{耐病性指数}} = \text{牛の乳房炎} + \text{血中ケトン体(βHB)}$$



耐病性で種雄牛と雌牛をランキング
疾病に罹りにくい遺伝子を調査

日本の総合指数(NTP)の見直し

現在のNTP 2015年版

生産性と長命連産性をバランスよく改良
できる種雄牛を選抜するための指数
遺伝改良の効果を最優先

長命連産効果の見直し

現在の長命連産効果 2011年版

経済的重みを「円」の単位で表示
酪農経営における収益性で種雄牛を選抜
生涯泌乳能力の改良を重視



2種類の指数で牛群改良

使用方法	後代検定の選抜 酪農家が種雄牛選抜	酪農家が種雄牛選抜 収益性で選抜
日本	総合指数 NTP	長命連産効果
米国	TPI	NM \$
カナダ	LPI	Pro \$

耐病性の改良に「耐病性指数」を試作

経産牛の生産寿命を延長し後継牛を確保するには、泌乳・体型能力の向上だけではなく、繁殖性や耐病性の遺伝的改良を行い、長命連産性を高めることが必要です。酪農現場では乳房炎など経済的損失が大きい疾病が多く、一度罹患すると生乳生産だけではなく、治療できずに淘汰されるなど生産寿命の短縮に影響を及ぼします。今まで、まとまった疾病記録をなかなか入手できず、日本では耐病性に関する研究を行うことができませんでした。

(一社)日本ホルスタイン登録協会は、日本中央競馬会(JRA)畜産振興事業「乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究事業」を実施し、全国5道県の農業共済組合の協力を得て膨大な疾病記録の提供を受けることができました。これらの記録を利用し出現頻度が高く経済的損失の顕著な疾病形質を厳選して耐病性に関するゲノミック育種価を推定しました。さらに疾病8形質を組み合わせ「耐病性指数」を開発しました。ここで疾病8形質とは第四胃変位、子宮内膜炎、臨床性乳房炎、乳熱、胎盤停滞、産褥熱、ケトosisおよび肢蹄病です。

NTPは2022年2月に改正したばかりですが、将来的には「耐病性指数」や本事業の中で開発した繁殖性や肢蹄などに関する指数を活用して、耐病性や繁殖性の改良効率を高めるためにNTPや長命連産効果の更なる見直しの準備を進めているところです。

乳牛改良をもっと身近に…総合的改良情報システムを開発

また、JRA畜産振興事業「乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究事業」では、総合指数や長命連産効果を含む遺伝評価値を効率的に生産現場で活用してもらうために、総合的改良情報システム(仮称:GeniUS)を試作しました。

GeniUSは個体毎の遺伝評価成績だけではなく、ハプロタイプ情報(ゲノミック評価を実施した個体のみ)や牛群の遺伝的レベル等を閲覧できるため、牛群改良に必要な情報をひと目で把握することができます。また、GeniUSは自宅のパソコンだけでなく、現場で気軽に使えるようにスマートフォンにも対応しています。まだ試作の段階ですが、近い将来このシステム運用を計画しています。非常に便利なシステムですので、リリースまでいま暫くお待ちください。



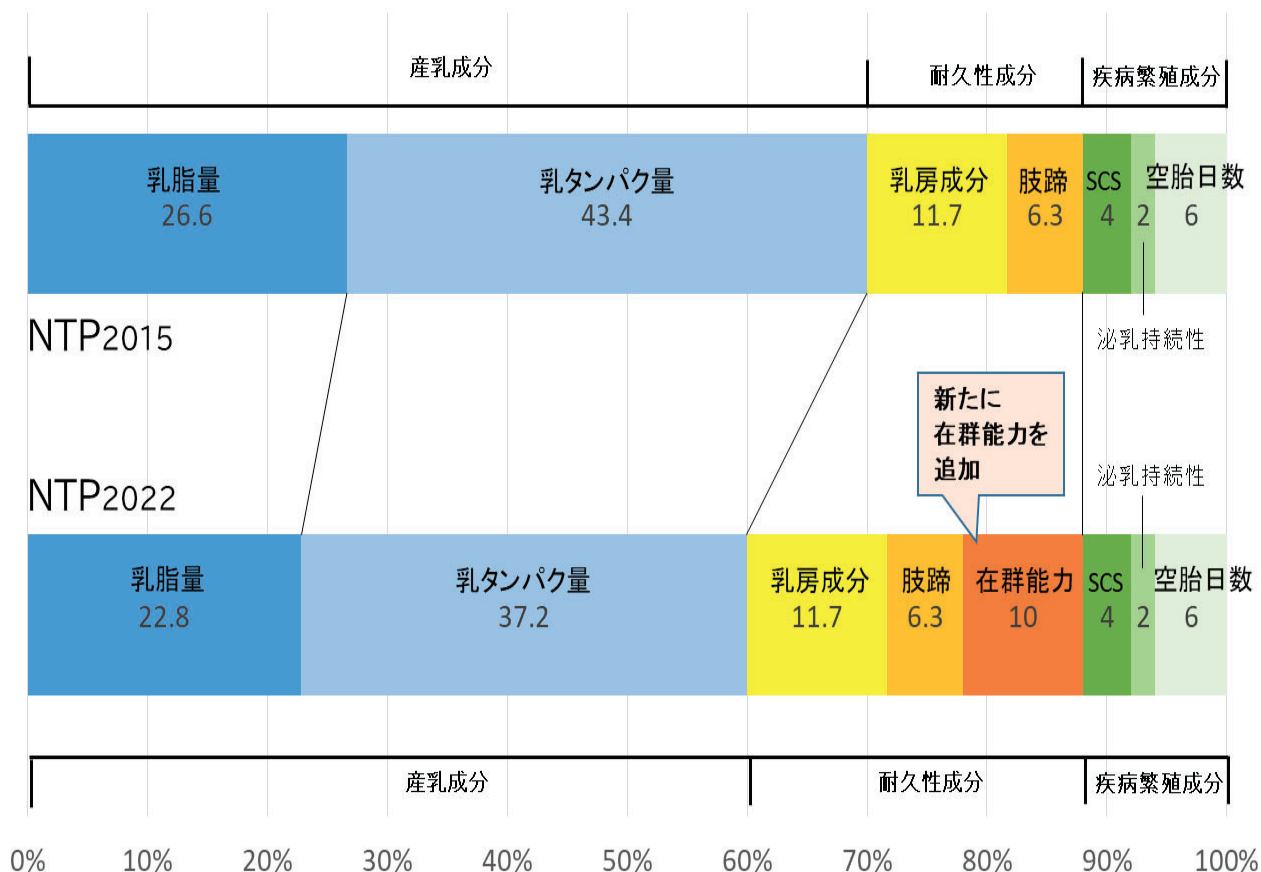
個体の遺伝評価情報

産牛遺伝評価情報			
登録番号	: 16XXXX 492X X	生年月日	: 2021.12.30
名	号	: 黒枝野 野-5774 黒-ウ	近交係数: 10.59%
		HLHF HKZF HXHF HHAF HPSF HPOF	品 種: HOL
遺伝評価成績 (2022年06月公表) - ゲノミック評価成績 (GPI)			
総合指数	G +1877 (90.0)	体型形質 (94%)	
差乳成分	+1804 (90.7)	決定係数	+0.89 (49) 15
耐久性成分	+120 (90.0)	体総と骨格	+0.53 (38) 26
疾病繁殖成分	-47 (90.0)	肢蹄	+0.39 (41) 21
乳代効果	+118908 (90.0)	乳用強健性	+0.66 (38) 14
長命連産効果	+42014 (90.0)	乳房	+0.75 (50) 25
繁殖力	(94%)	高さ	+1.50 (72)
乳量	+935kg (54) 9	胸の幅	+2.23 (55)
乳脂質	+65kg (59) 7	体の深さ	+1.92 (63)
無脂固形分量	+69kg (36) 13	体角性	+1.11 (54)
乳タンパク質量	+37kg (45) 10	B C S	-0.33 (37)
乳脂率	+0.32% (63)	尻の角度	+0.53 (61)
無脂固形率	+0.20% (46)	坐骨幅	+2.18 (56)
乳タンパク質率	+0.08% (61)	後肢側傾	-0.23 (63)
体組成スコア	1.92 (47)	後肢後傾	+0.26 (43)
泌乳持続性	+1.95 (21)	蹄の角度	+1.70 (43)
繁殖力	(94%)	歩様	+0.96 (54)
空胎日数	156日 (55)	前乳房の付着	+0.66 (54)
未経産母中受胎率	52% (36)	後乳房の高さ	+2.10 (46)
初産母中受胎率	32% (45)	後乳房の幅	+0.56 (55)
繁殖性成分	+0.62 (45)	乳房のけん重	-1.22 (44)
疾病形質 (94%)		乳房の深さ	+0.60 (62)
第四胃変位	-1.00 (46)	乳房の傾斜	+1.25 (30)
子宮内膜炎	+0.62 (19)	前乳房の配置	+1.60 (62)
臨床性乳房炎	+0.53 (33)	後乳房の配置	-0.16 (67)
乳熱	+1.95 (42)	前乳房の長さ	-0.47 (66)
胎盤停滞	-1.00 (46)		
産褥熱	+0.62 (19)	乳固成分	+1.60
ケトosis	+0.53 (33)	肢蹄成分	+1.25
肢蹄病	+1.95 (42)	体の大きさ成分	+1.60
耐病性成分	+1.23	体重成分	-0.16
管理形質 (94%)			
在胎能力	-1.00 (46)	変異	100 (33)
胎動活性	+0.62 (19)	採乳性	101 (42)



スマホのメニュー画面

総合指数(NTP2022)で生産寿命の延長を!!



(一社)日本ホルスタイン登録協会では7年ぶりに総合指数(NTP)を改正し、2022年2月の評価から公表しました。

今回の改正では、産乳成分の乳脂量と乳タンパク質の重みを合計10%減らし、生産寿命に係る形質として、新たに「在群能力」を10%追加いたしました。「在群能力」は初産から3産の期間における雌牛の生存性を評価しており、この数値が高いほど長命であると言えます。なお、本事業による調査の結果、在群能力を高めることで耐病性形質も好ましい改良効果が得られることが明らかになりました。よって、この新しいNTP(NTP2022)の活用により、耐病性も高めながら生産寿命の延長や乳成分率の向上が期待できます。その他にも、空胎日数の延長傾向の抑制や体の大型化の速度が鈍化するなどのメリットがあります。

日本の環境にあった牛づくりのため、是非 NTP2022 を活用ください

乳用牛生産性長命連産性の遺伝改良研究事業報告書

令和5年3月発行

発行 一般社団法人 日本ホルスタイン登録協会
〒164-0012 東京都中野区本町4-38-13
日本ホルスタイン会館
TEL 03-3383-2501 FAX 03-3383-2503