



日本中央競馬会
特別振興資金助成事業

乳用牛DNA情報による長命連産性向上事業報告書

令和2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DNA情報による長命連産性向上事業報告書

目 次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	乳用牛DNA情報を活用した長命連産性向上手法開発推進委員会の概要	2
第 3 章	体型測尺、歩様審査およびSNP検査のデータ収集	10
第 4 章	生存時間解析を利用した体型形質と淘汰の危険性の関係	13
第 5 章	体型測尺形質における成長曲線モデルの検討	23
第 6 章	成長曲線のパラメータから判断される成長過程の経時的変化	37
第 7 章	ホルスタイン雌牛に関する標準発育値の設定	45
第 8 章	変量回帰モデルを使用した成長形質の遺伝的パラメータと育種価の推定	77
第 9 章	長命性と体のサイズに関する体型形質との 遺伝的関連性の世代による変化	85
第 10 章	真の長命性、機能的長命性、繁殖性および体のサイズに関する体型形質との 遺伝的パラメータの推定	96
第 11 章	最適な体のサイズに選抜するための指数（体のサイズ指数）の開発	107
第 12 章	長命性と肢蹄に関する遺伝的パラメータの推定	122
第 13 章	欠測データを含む歩様に関する遺伝評価手法の検討	133
第 14 章	生産寿命の延長が期待できる肢蹄指数の開発	145
第 15 章	胸囲からの体重推定	165
第 16 章	本事業の成果と今後の展望	171
付 録	線形式体型形質一覧表	172

委員（あいうえお順）

- 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
家畜育種繁殖研究領域 家畜育種ユニット ユニット長
- 佐分 淳一 独立行政法人家畜改良センター改良部情報分析課
乳用牛評価第1係長
- 寺脇 良悟 酪農学園大学農食環境学群循環農学類 教授
- 富樫 研治 一般社団法人家畜改良事業団家畜改良技術研究所 所長
- 中田 和孝 北海道酪農家
- 萩谷 功一 国立大学法人帯広畜産大学畜産生命科学研究部門 准教授
- 半澤 善幸 都府県酪農家

執筆者（あいうえお順）

- 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 部長
- 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

第1章 はじめに

近年の酪農家戸数および乳用牛飼養頭数の減少と相俟って、地震や台風等自然災害の影響による生乳生産性の回復の遅れ、さらには、TPP・FTAの問題や指定団体制度改革など不安要素が多く、わが国の酪農生産基盤の弱体化が危惧される。これまでも関係機関の指導の下、酪農家も飼養管理や繁殖技術の改善に努力傾注してきたものの、乳用牛の生産寿命の低迷や繁殖性の低下傾向は未だに続いており、さらなる改善の努力が必要と考えられる。

繁殖性の改善によって後継牛不足を補い、生乳生産量を回復させるためには、乳用牛の長命連産性向上および生涯乳量の増産が急務である。そのための対策として、体型の改良においては、育成期から初妊期間にかけて発育性に優れ、分娩後はあまり大型化せずに飼養管理しやすい、中程度の体のサイズに選抜・改良するための手法について、最新の育種技術である SNP（一塩基多型）のような DNA 情報も積極的に活用して確立する必要がある。

さらに、国際的にみると、肢蹄は決定得点を構成する体型部位の中で乳器に次いで重要とされ、特に肢蹄の中でも歩様（跛行）と繁殖性および長命連産性との関連性を指摘した研究報告があり、世界 42 カ国のホルスタイン登録団体で構成される「世界ホルスタインフリージアン連盟」でも、加盟国に対し歩様のデータ収集と遺伝的評価を実施することを推奨している。しかしながら、歩様の審査は放し飼い牛舎（フリーストール／フリーバーン農家）に限定されるため、繋ぎ飼い牛舎が多い日本では、歩様データを有する牛は、初産体型審査牛の 23%、2 産以上では 9%と極めて少ないのが現状である。

本事業では、ホルスタイン種雌牛の体型測尺データを基に、飼養管理に適した体のサイズに改良するための標準発育値の設定・発育性などを考慮した「体のサイズ指数」、歩様を含む肢蹄の体型審査データの拡充に加え、DNA 情報を連動的に活用して、繋ぎ飼い牛舎の雌牛でも間接的に歩様の遺伝評価ができる「肢蹄指数」など、長命連産性の向上に必要な改良手法の技術開発について調査・研究を行った。

第2章 乳用牛 DNA 情報を活用した長命連産性向上手法開発推進委員会の概要

1. 推進委員会の開催

本事業では、乳用牛の生産性向上を目的として、生産寿命や長命連産性の遺伝的能力を向上させるための選抜手法を検討するため、学識経験者などからなる開発推進委員会を年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) 平成29年度推進委員会

日時：平成29年8月2日（水） 14時～17時

場所：（一社）日本ホルスタイン登録協会 会議室

議題：ア. 事業内容について

イ. 発育性・体のサイズの改良手法開発事業について

ウ. 肢蹄形質の改良手法開発事業について

エ. 事業の分析業務について

オ. その他

(2) 平成30年度推進委員会

日時：平成30年6月5日（火） 13時半～16時半

場所：（一社）日本ホルスタイン登録協会 会議室

議題：ア. 事業の概要と進捗状況について

イ. 平成29年度事業成果について

ウ. 平成30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) 平成31年度推進委員会（1回目）

日時：令和元年5月17日（金） 13時半～16時半

場所：（一社）日本ホルスタイン登録協会 会議室

議題：ア. 事業の概要と進捗状況について

イ. 平成30年度事業成果について

- ウ. 平成 31 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) 平成 31 年度推進委員会 (2 回目) (都合により書面会議を実施した)

日 時: 令和 2 年 3 月 6 日 (金) 13 時半~17 時

場 所: (一社) 日本ホルスタイン登録協会 会議室

議 題: ア. 事業の概要と進捗状況

- イ. 平成 31 年度事業の成果について
- ウ. 調査研究報告書、標準発育値の冊子に係る編集及び発行について
- エ. 達成目標等の確認及び自己評価結果の確認について
- オ. その他

2. 推進委員会の概要

(1) 平成 29 年度推進委員会 (平成 29 年 8 月 2 日)

ア. 事業内容について

(ア) 事業の目的について

- ・近年の酪農家戸数と乳用牛飼養頭数の減少や、自然災害による生乳生産量回復の遅れ、TPP や FTA 問題、指定団体制度改革など不安要素が多く、我が国の酪農生産基盤の弱体化が危惧される。
- ・乳牛改良面からの方策として、遺伝的に優良な乳用牛群を整備することによって、酪農経営の安定および生産性向上を図る必要がある。

(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 DNA 情報を活用した長命連産性向上手法開発推進委員会の開催
- ② 発育性・体のサイズの改良手法開発事業について
- ③ 長命連産性向上のための肢蹄形質の改良手法開発事業

(ウ) 事業目標について

- ・乳用牛の生産性向上を目的とし、体型改良を通じて繁殖性との関係を踏まえて、生産寿命や長命連産性との潜在的能力を向上させるための選抜手法を検討する。
- ・未経産牛の標準的な発育性が明確にわかるように、5 部位の標準発育値

を推定する。

- 体のサイズ指数、歩様のゲノミック評価および肢蹄指数を開発する。
- 最終年度には目標達成できたかの評価を行う。

イ. 発育性・体のサイズの改良手法開発事業について

- 平成 8 年以降、標準発育値が更新されていないので、育成牛の体型測尺データを収集し、新たな標準発育値を作成する。
- 乳牛の大型化が進行しているため、適正な体のサイズに選抜する手法、体のサイズ指数を開発する。
- 標準発育値は冊子を作成し、国および畜産試験場などに配布する。

ウ. 肢蹄形質の改良手法開発事業について

- 歩様データを含む体型審査を実施する。
- 歩様の記録を持つ経産牛の SNP 検査を実施する。
- SNP 情報と歩様の関係を分析し、遺伝評価および肢蹄指数の開発をする。

エ. 事業の分担業務について

(ア) 未経産牛の標準発育値の開発

- 体型測尺データを 6 つの成長曲線モデルに当てはめ成長曲線を作成する。
- 各成長曲線に関する決定係数および AIC などを指標に、最も当てはまりの良い成長曲線を選定する。
- 選定した成長曲線から月齢ごとの標準発育値を計算し、体型測尺データの標準偏差を利用して、月齢ごとの適正範囲を設定する。
- 変量回帰モデルを利用して発育段階の体型測尺値の遺伝評価値を推定する。
- 発育段階の体型測尺値の遺伝評価値と、分娩後の泌乳・繁殖・長命性および、疾病形質の遺伝評価値との相関形質を計算し、関連を調べる。

(イ) 体のサイズ指数を利用した改良手法の開発

- マルチステップ法により精度が高いとされるシングルステップ法を採用し、ゲノミック評価を試みる。
- 雌牛の世代ごとに生産期間および在群期間との遺伝相関を推定して、経時的变化を調査する。
- 生産期間および在群期間との表型相関、遺伝相関および SNP 効果の相関を計算する。

- 体のサイズに関連する形質と長命性との遺伝相関および SNP 効果の相関に基づき、体のサイズ指数を開発する。

(ウ) 長命連産性向上のための肢蹄形質の改良手法開発事業

- 繋ぎ飼い牛舎等で歩様のスコアが取れなかった雌牛の遺伝評価値を計算するため、他の肢蹄形質との間接反応を利用した多形質予測法、ゲノミック評価法および両者を組み合わせた方法を検討する。
- マルチステップ法により精度が高いとされるシングルステップ法を採用し、ゲノミック評価を試みる。
- 肢蹄形質と長命性、繁殖および疾病との遺伝相関および SNP 効果の相関に基づき、肢蹄指数を開発する。

(2) 平成 30 年度推進委員会（平成 30 年 6 月 5 日）

ア. 事業の概要と進捗状況について

- 平成 29 年度事業の概要と進捗状況について事務局から報告。
 - ① 昨年 8 月 2 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 発育性・体のサイズの改良手法開発のため、育成牛延べ 743 頭を体尺測定。
 - ③ 肢蹄形質の改良手法開発のため、初産牛 4,304 頭の歩様データ収集。
 - ④ 歩様記録を持つ経産牛 600 頭の SNP 検査を実施。
 - ⑤ 過去の体型データを用いて、体のサイズと淘汰のリスク比の推定、および生存寿命と体のサイズの遺伝的関係を分析。

イ. 平成 29 年度事業成果について

- 体のサイズ指数に係る調査・分析状況について事務局から報告。

(ア) 生存時間解析を利用した体のサイズと淘汰の危険性では、2000 年以降の集団では、それ以前の集団と比較して、高さ・胸の幅・体の深さの相対的貢献度が高くなる傾向にあり、線形スコアが上昇するにつれて、淘汰のリスクがより顕著になる傾向にあり、高さと体の深さは線形スコア 2、胸の幅と坐骨幅はスコア 3 で淘汰のリスクが最小になり、生産寿命の延長が期待できる最適サイズを示唆するものと考えられる。

(イ) 生存寿命と体のサイズに関する遺伝的パラメータの推定では、体高が高くなるにつれて生存寿命と体のサイズの遺伝相関はマイナスの傾向が顕著になった。この遺伝相関のマイナス傾向は、体高よりも体の深さや坐骨幅により顕著であった。この分析結果は、体のサイズを大きい方向に選抜すれば、生産寿命が短縮方向に間接反応することを示唆している。

ウ. 平成 30 年度事業計画について

- 平成 30 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 6 月 5 日に開催。
 - ②育成牛延べ 470 頭の体尺測定（増頭の見込み）。この他、家畜改良センターや都道府県の畜産試験場などに依頼して、未經産牛の体尺測定データを収集。
 - ③初産牛 8,707 頭の歩様データ収集。
 - ④歩様記録を持つ経産牛 1,100 頭の SNP 検査実施。
 - ⑤標準発育値、体のサイズ指数、肢蹄指数作成のための手法開発を行う。

エ. 事業に係る助言について

- この事業で開発した指数を、種雄牛の遺伝評価値の公表にあわせて表示できるような態勢に持っていけることが望ましい。体のサイズ指数は、将来的には「長命連産効果」に組み入れることも検討したい。
- 体を小さくするのではなく、「適正な体のサイズ」として捉えるべき。ただし、分析の中で高さや体の深さなどで線形スコア 2 がリスク比最小になっているが、スコア 2 は実際にはデータ数がかなり少ないこともあり、内容をさらに検討すべき。
- 「適正な体のサイズ」の観点から、この事業の結果を踏まえて、将来的には審査標準改正の検討も必要になるかもしれない。
- ゲノムを利用し、農家により有益な情報が還元されるようになれば、農家も自発的に SNP 検査を申し込むことになる。そのきっかけになってほしい。

(3) 平成 31 年度推進委員会（1 回目）（令和元年 5 月 17 日）

ア. 事業の概要と進捗状況について

- 平成 29 年度事業の概要と進捗状況について事務局から報告。

- ①昨年 6 月 5 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発育性・体のサイズの改良手法開発のため、育成牛延べ 775 頭を体尺測定。
- ③肢蹄形質の改良手法開発のため、初産牛 8,707 頭の歩様データ収集。
- ④歩様記録を持つ経産牛 1,100 頭の SNP 検査を実施。
- ⑤過去の体型データを用いて、体のサイズと淘汰のリスク比の推定、および生存寿命と体のサイズの遺伝的関係を分析。

イ. 平成 30 年度事業成果について

- ・体のサイズ指数に係る調査・分析状況について事務局から報告。

(ア) 生存時間解析を利用した体のサイズと淘汰の危険性では、体のサイズに関する形質は、近年、相対貢献度が高くなる傾向あり、最適スコアは 1 から 4 へ推移、後肢側望、肢蹄・歩様は長命性に対する関連が認められたが、後肢後望および蹄の角度は相対的貢献度が低く、乳房に関する形質は乳器得率を含めて相対貢献度が高く、特に乳房底面の高さは最も高い。

(イ) 生存寿命と体のサイズに関する遺伝的パラメータの推定では、線形形質に関する上位牛の SBV 平均値および全種雄牛の相関係数はすべての指数においてマイナスとなった。下限値を設定した指数における上位牛を種雄牛として選定した場合、体貌と骨格の得率を下げることなく、体のサイズを中程度に改良できることが示唆された。

(ウ) 肢蹄形質と長命性・繁殖形質に関する遺伝的パラメータの推定では、歩様記録を持つ雌牛の遺伝的トレンドは雄牛のトレンドと比較して、近年緩やかな正の方向へ改良。推定された遺伝評価値間の相関は 0.89 から 0.99 の範囲で雄牛と比較して高い相関、一方、歩様記録のない雌牛の遺伝的トレンドは、BLUP および ssGBLUP 同様の傾向。二つのモデルから得られた遺伝的評価値間の相関は 0.91 と高い。

(エ) 肢蹄指数の開発では、序列上位牛における肢蹄得率の育種価および線形形質の標準化育種価の平均値は後肢側望が負・その他の形質は正、後肢側望および蹄の角度はスコア 5 が最適として審査されている。しかし、生存時間解析の結果では、後肢側望スコア 5 以下（直飛傾向）の淘汰のリスクが低く、今後検討の必要性がある。

(オ) ホルスタイン雌牛の成長曲線は、全国の酪農家および畜産試験場などの計 30 ヲ所で測尺した、1995 年から 2016 年生まれの 0 から 72 ヲ月齡の 7,943 頭の測尺記録から推定。成長曲線モデルは 5 つのモデルを用いて分析した。2000 年を 0 として体の各部位の年次変化を調査、1995 年に日ホが公表した標準発育値と今回の分析で推定した発育値の比較では、体重・体高・腰角幅・尻長・胸囲の全て上回っていた。今の牛は体高がある割に、尻長・腰角幅はそれほど増加しておらず、肢長でスリムな体型になっていることが推定できた。

ウ. 平成 31 年度事業計画について

- 平成 31 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 17 日と年度末の 2 回開催。
 - ②3 年間の目標である育成牛延べ 750 頭になるまで体尺測定。
 - ③初産牛 8,681 頭の歩様データ収集。
 - ④歩様記録を持つ経産牛 1,010 頭の SNP 検査を実施。
 - ⑤未経産牛の標準発育値の開発と利活用のため冊子を 1,000 部作成し配布、体のサイズ指数の開発とサイズ指数の上位雄 100 頭・雌 1,000 頭の序列づけ、ゲノミック評価手法などを取り入れた肢蹄指数の開発と、肢蹄指数の上位雄 100 頭・雌 1,000 頭の序列づけ、研究報告書を 300 冊作成し配布する。

エ. 事業に係る助言について

- BCS が高いとリスク比が低くなるのか？中等度が良いのか。痩せているはマイナスの要因であるが肉のつき方による。痩せているからと言って病気ではない。
- 体高のある大きな牛はゲノミック評価とは合わない。アメリカでは大きな牛は繁殖が良いとなっている。マイナスに働く遺伝子があるのか。150cm の高さがある牛は、ある程度坐骨幅が必要。
- 体のサイズ指数では、どの発育時期を見るのか。24 ヲ月で分娩するとして、どのくらいの体高や体重が必要なのか、検討が必要。
- 「標準発育値」という表現がいいのか？または、「理想発育値」とした方がいいのか検討すべき。

(4) 平成31年度推進委員会(2回目)(令和2年3月6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17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。
 - ②3年間の計画頭数である育成牛延べ750頭を体尺測定。また、国および都道府県の試験場などで測尺した記録を合わせて、標準発育値を分析。体のサイズ指数の開発と、サイズ指数の上位雄100頭・雌1,000頭の序列づけを行った。
 - ③肢蹄形質の改良手法開発のため、初産牛8,681頭の歩様データ収集。併せて、歩様記録を持つ経産牛1,010頭のSNP検査を実施。ゲノミック評価手法などを取り入れた肢蹄指数の開発と、肢蹄指数の上位雄100頭・雌1,000頭の序列づけを行った。

イ. 平成31年度事業の成果について

- 書面会議のため、各推進委員に報告書を発送して成果報告した。

ウ. 調査研究報告書、標準発育値の冊子に係る編集及び発行について

- 書面会議のため、各推進委員に調査研究報告書を発送して、各委員から助言等を受けた。また、標準発育値の冊子を作成するにあたり、使用する用語等の助言を受けた。

エ. 達成目標等の確認及び自己評価結果の確認について、

- 書面会議のため、各推進委員に自己評価票を発送し、各推進委員から自己評価に対する評価および助言等を受けた。

オ. その他

第3章 体型測尺、歩様審査および SNP 検査のデータ収集

1. 未経産牛の体型測尺調査の実施

本事業では、長命連産性向上のための発育性・体のサイズの改良手法を研究するに当たり、現在飼養されているホルスタインの体格を把握する目的で、未経産牛の体型測尺調査を実施した。具体的には協力農家を2回以上訪問し、平成29年度から平成31年度の3年間で750頭の未経産牛を対象に高さ、尻長、腰角幅（または坐骨幅）、胸囲および体重（推定尺による）の5部位の測尺を行う計画で開始した。表3-1には体型測尺を実施した雌牛数と記録数を示した。調査は道県の牧場13戸の協力を得て実施され、3年間の合計で896頭から4,756記録を収集し、計画を上回る成果を達成することができた。

表3-1. 体型測尺を実施した雌牛数と記録数

農家	平成29年度		平成30年度		平成31年度		合計	
	頭数	記録数	頭数	記録数	頭数	記録数	頭数	記録数
北海道 (株)町村農場	83	185	160	604	190	674	208	1,463
関友樹	28	69	68	237	89	289	93	595
(有)福本牧場	41	94	88	306	97	315	120	715
大屋徳彦	42	94	53	228	57	213	69	535
小計	194	442	369	1,375	433	1,491	490	3,308
秋田県 (公社)秋田県農業公社	14	24					14	24
茨城県 荒井裕一郎	28	36	57	90	34	49	69	175
大貫康	20	30	42	95	36	67	42	192
群馬県 石原玄明	10	14	28	61	22	38	28	113
埼玉県 (株)ブルーバードファーム	14	20	27	52	19	33	29	105
千葉県 高橋憲二	31	46	62	117	46	82	66	245
(有)高秀牧場	41	67	84	163	57	106	85	336
合同会社ツクモランド	19	31	33	72	22	37	35	140
神奈川県 (有)荒井牧場	19	32	28	44	26	45	38	121
小計	196	300	361	694	262	457	406	1,451
合計	390	742	730	2,069	695	1,948	896	4,759

合計の頭数は実頭数とした。

表3-2. 歩様を含む体型審査の実施頭数

地域	平成29	平成30	平成31	合計
北海道				
石狩	61	121	77	259
空知	10		7	17
上川	64	144	116	324
後志	7			7
道南	12	24	38	74
胆振	19	52	25	96
日高	13	14		27
十勝	1,247	2,350	2,031	5,628
釧路	371	835	645	1,851
根室	436	1,188	864	2,488
網走	436	695	529	1,660
宗谷	76	192	151	419
留萌	11	66	30	107
小計	2,763	5,681	4,513	12,957
府県				
青森	5	20	42	67
岩手	48	262	147	457
宮城	10	24	12	46
秋田	19	26	28	73
山形	5	35	39	79
福島	20	40	45	105
茨城	56	240	52	348
栃木	124	295	248	667
群馬	460	317	436	1,213
埼玉		7	5	12
千葉	35	58	39	132
東京		6		6
新潟		8		8
富山	5	3	6	14
山梨	12	49	34	95
長野	30	66	38	134
岐阜	25	65	65	155
静岡	20	52	61	133
愛知	30	64	129	223
滋賀	15	36	20	71
京都	3	21	4	28
兵庫	40	25	20	85
鳥取	67	141	176	384
島根	8	10	10	28
岡山	30	70	48	148
広島	12	11	14	37
山口	18	41	60	119
徳島	10	22	6	38
香川	10	22	47	79
愛媛	3	19	25	47
高知	5	2		7
福岡	43	62	26	131
佐賀	20		3	23
長崎	15	13	19	47
熊本	250	672	639	1,561
大分		51	34	85
宮崎	17	113	55	185
鹿児島	63	190	196	449
沖縄	8	3		11
小計	1,541	3,161	2,828	7,530
合計	4,304	8,842	7,341	20,487

表3-3. SNP検査を実施した雌牛頭数

地域	平成29	平成30	平成31	合計
北海道				
石狩	55	58	55	168
空知	5	11	5	21
上川	6	15	14	35
後志		6		6
道南	10	11	4	25
胆振	6	4	7	17
十勝	150	217	251	618
釧路	42	125	114	281
根室	102	158	121	381
網走	55	124	116	295
宗谷	37	26	14	77
留萌	2	14	9	25
小計	470	769	710	1,949
県				
青森	5	9		14
宮城	3	5	5	13
秋田	5	15	5	25
山形	3	5		8
福島	2	7	16	25
茨城	10	17	13	40
栃木		36	95	131
群馬	12	39		51
千葉		10	5	15
新潟		1		1
富山	1	2		3
山梨	3	4	10	17
長野	3	10	7	20
岐阜		6		6
静岡	3	15	1	19
愛知	9	5	7	21
滋賀		2		2
兵庫	14	4		18
鳥取	25	25	37	87
岡山	3	10		13
広島		3		3
山口		10	5	15
徳島		3		3
愛媛	3		5	8
福岡		15	20	35
長崎		5		5
熊本	9	23	26	58
大分	9	17	10	36
宮崎	3	5	10	18
鹿児島	5	22	23	50
沖縄		1		1
小計	130	331	300	761
合計	600	1,100	1,010	2,710

2. 歩様を含む体型審査の実施

歩様(跛行)は長命連産性と関連している形質であるが、体型審査は放し飼い牛舎に限られていた。本事業では、放し飼い牛舎でホルスタインを飼養している農家を対象に3年間で19,800頭(年間平均で6,600頭)から初産時の体型審査データを効率的に収集する計画を立てた。表3-2には歩様を含む体型審査の実施頭数を示したが、3年間の合計で20,487頭から歩様を含む体型審査データを収集することができた。

3. 経産牛におけるSNP検査の実施

前述のとおり歩様データは繋ぎ飼い牛舎で飼養されている雌牛から収集できないが、遺伝的改良を進めるには記録のない個体でも歩様の育種価を推定し、選抜することが望ましい。そこで、SNP情報を利用しより信頼度の高い育種価を推定する手法を研究開発するため、本事業ではすでに体型審査を実施した経産牛を対象に3年間で2,710頭のSNP検査(LDチップ)を実施した。表3-3には、SNP検査を実施した雌牛頭数を示した。

第4章 生存時間解析を利用した体型形質と淘汰の危険性の関係

1. はじめに

乳用牛において最も重要な形質は泌乳能力であるが、長命連産性を向上させ生涯生産量を増加させるためには、在群期間および生産期間を延長させる対策も重要である。泌乳能力の高い雌牛は、一般に牛群に長く留まり生涯生産量も高い傾向にある。しかし、繁殖障害および乳房炎等の疾病、さらには飼養管理や搾乳管理などで体型上の問題により不本意な淘汰をせざるを得ない雌牛は、仮に泌乳形質の遺伝的能力が高くても、在群期間および生産期間が短縮するため、酪農家の経営にとって不利益となる。

また、近年の酪農経営は大規模化および多頭飼育化が進み、ミルクパーラーや搾乳ロボットの急速な普及により、繋ぎ飼いから放し飼い牛舎へと飼養形態が変化している状況にある。本分析では、線形式体型形質(以下、線形形質という)を利用し、繋ぎ飼いと放し飼いにおいて、酪農家が淘汰する体型的特徴を生存時間解析により調査した。

2. 材料と方法

分析には、牛群検定記録を使用し、18 から 35 ヶ月齢で初産分娩した雌牛を抽出した。次に、2004 年 4 月から 2019 年 3 月の間に体型審査を実施した初産乳期中の体型記録を抽出し、上記の牛群検定記録と結合した。分析に使用した体型形質は体型審査で収集した線形形質であり、具体的には高さ、胸の幅、体の深さ、坐骨幅、尻の角度、鋭角性、ボディコンディションスコア (BCS)、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、前乳頭の長さ、後乳頭の配置および歩様の 19 形質である。

本分析では体型審査時における牛舎形態の報告に基づき放し飼い集団と繋ぎ飼い集団の 2 種類のデータセットを作成した。なお、歩様は繋ぎ飼い集団で記録が得られないことから、本分析では放し飼い集団のみの分析とした。

淘汰の危険性(リスク比)の推定には、以下のワイブル比例ハザードモデルを仮定した。

$$h_{ijklmno}(t) = h_{0,s}(t) \exp \{ YS(t') + LS(t'') + A_k + M_l(t''') + F_m(t''') + T_n + hy_d(t''') \}$$

ここで、

$h_{ijklmno}(t)$: 各産次における分娩後 t 日目における雌牛のハザード関数 (8 産以上の記録を持つ雌牛は 8 産とした)

$h_{0,s}(t)$: 産次ごとのワイブル比例ハザード関数

$YS(t')$: 年次と季節のサブクラスを示す時間依存型の母数効果

- $LS(t'')$: 泌乳ステージを示す時間依存型の母数効果 (分娩日から 90 日、91 日～180 日、181 日～305 日および 306 日以上の 4 クラスに分類)
- A_k : 初産分娩月齢を示す時間独立依存型の母数効果 (21 カ月齢以下、30～31、32～33、34～35 カ月齢をまとめて 12 クラスに分類)
- $M(t''')$ 、 $F_m(t''')$: 成牛換算 305 日乳量および成牛換算 305 日乳脂量 (240 日以下は拡張) の牛群年次サブクラス平均からの差を示し、各乳期の初めて change する時間依存型の母数効果 (標準偏差単位で 10 クラスに分類)
- T_n : 初産の n 番目体型形質における時間独立型の母数効果
- $hy_d(t''')$: 分娩時の牛群・年次サブクラスに関する変量効果 (牛群・年次効果のパラメータ: γ は、対数 γ 分布にしたがうと仮定)

表4-1. 雌牛数、産次数および産次別の打切りと除籍の記録数とその割合および平均在籍日数(各産次から次の分娩まで)

データセット (形質区分)	18形質		歩 様
	繋ぎ飼い	放し飼い	
雌牛数	177,147	134,130	80,856
雌牛 - 産次数	580,600	351,802	205,994
打切り			
記録数	443,422	262,260	153,658
割合(%)	76.4	74.5	74.6
平均日数	415	403	401
除 籍			
記録数	137,178	89,542	52,336
割合(%)	23.6	25.5	25.4
平均日数	324	320	320

表4-2. 繋ぎ飼いと放し飼い集団における産次別の雌牛数、在籍割合および ρ

産次	繋ぎ飼い			放し飼い		
	雌牛数	在籍(%)	ρ	雌牛数	在籍(%)	ρ
1	177,147	90.1	2.81	134,130	88.3	2.70
2	149,503	79.2	2.21	106,024	76.0	2.22
3	107,457	70.6	1.94	70,708	66.3	1.91
4	67,328	63.6	1.86	41,581	59.0	1.79
5	36,629	57.9	1.73	21,161	53.7	1.58
6	17,155	53.4	1.56	8,996	49.8	1.39
7	7,043	50.8	1.36	3,380	45.8	1.27
8 ≤	3,560	49.6	1.27	1,530	46.8	1.18

このモデルには $M(t'')$ と $F_m(t''')$ の効果が含まれていることから、本分析では n 番目体型形質に対する機能的在群期間(FHL)の関係を分析した。淘汰の危険性の推定は、Survival Kit 6.2 (Ducrocq ら, 2010) を使用した。

表 4-1 には、雌牛数、産次数および産次別の打切りと除籍の記録数とその割合および平均在籍日数(各産次から次の分娩まで)を示した。各雌牛の合計産次数は、全体の記録数と同じになる。産次ごとの打切り記録の割合は繋ぎ飼いに於いて 76.4%、放し飼いに於いて 74.5% (歩様に関して 74.6%)、平均日数は繋ぎ飼いに於いて 415 日、放し飼いに於いて 403 日 (歩様は 401 日) であった。産次ごとの除籍記録の割合は繋ぎ飼いに於いて 23.64%、放し飼いに於いて 25.5% (歩様に関して 25.4%)、平均日数は繋ぎ飼いに於いて 324 日、放し飼いに於いて 320 日 (歩様に関して 320 日) であった。

3. 結果および考察

(1) 各産次における淘汰の状況

カイ 2 乗統計量による尤度比検定において、本分析における体型形質と FHL との関係はすべて有意であった ($P < 0.01$)。表 4-2 には、産次別の雌牛数と在籍雌牛の割合およびワイブルノ形状を示すパラメータ ρ を示した。初産における在籍雌牛の割合は、繋ぎ飼いと放し飼いの集団においてそれぞれ 90.1% および 88.3% であった。2 産から 5 産までは、それぞれ 79.2% から 57.9% および 76.0% から 53.7% であり、放し飼いの集団は繋ぎ飼いの集団と比較し早く淘汰される傾向が認められた。

ρ は繋ぎ飼いの集団において 2.81 から 1.27 の範囲、放し飼いの集団において 2.70 から 1.18 の範囲で産次とともに低下した。米国のホルスタインに関して ρ は地域別に 0.36 から 0.80 の範囲 (Caraviello ら, 2004)、カナダのホルスタインに関する ρ は産次別に 1.68 (初産) から 1.43 (5 産以上) (Sewalem ら, 2004) であり、本分析で推定した ρ は、北米よりも高く推定された。

(2) 各体型形質の相対的貢献度

図 4-1 には、FHL に対する各体型形質の尤度による相対的貢献度を示した。相対的貢献度は体型形質を含まないモデルと体型形質を含むモデル間の尤度 ($-2\log L$) の差とし、放し飼いの集団において最も相対的貢献度が高い形質を 100% とした場合の各形質の相対的貢献度の割合として示した。乳房の深さは、繋ぎ飼いと放し飼いの集団共に FHL に対する相対的貢献度が最も高かった。その他の乳房に関する形質として、後乳房の幅および前乳頭の付着の相対的貢献度が高く、これらの結果はカナダのホルスタインにおける報告と一致した (Sewalem, 2004)。乳房以外の形質では体の大きさに関する形質として体の深さ、胸の幅および坐骨幅の貢献度が比較的大きく、さらに鋭角性のような乳用性に関する形質が次に続き貢献度が高かった。

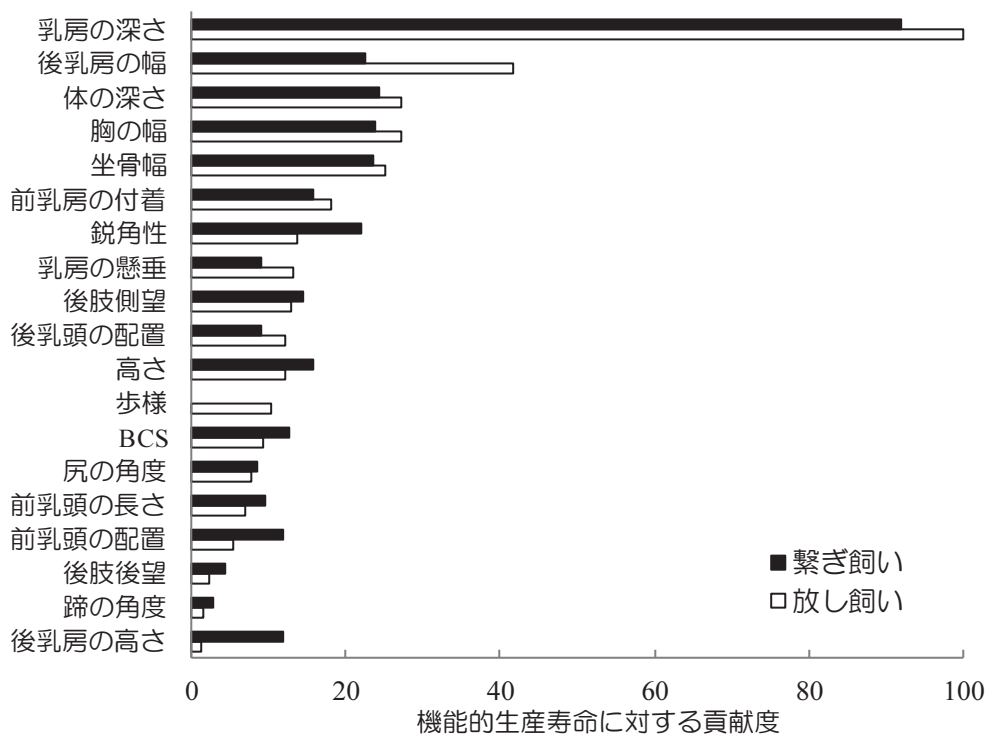


図4-1. FHLに対する各体型形質の尤度による相対的貢献度

表4-3. 繋ぎ飼い集団における各体型形質の淘汰の相対リスク比、リスク比の割合および最適スコア

形質	線形スコア									リスク比割合	最適スコア
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
高さ	1.11	1.02	1.02	1.01	1.01	1.04	1.14	1.26	1.27	1.26	4, 5
胸の幅	1.09	1.11	1.05	1.00	1.06	1.18	1.23	1.29	1.43	1.43	4
体の深さ	1.16	1.17	1.11	1.00	1.10	1.21	1.32	1.43	1.48	1.48	4
坐骨幅	1.08	1.01	1.00	1.02	1.06	1.16	1.25	1.31	1.34	1.34	3
尻の角度	1.23	1.05	1.05	1.03	1.03	1.00	1.01	1.13	1.17	1.23	6
鋭角性	1.10	1.01	1.03	1.00	1.04	1.08	1.08	1.14	1.24	1.24	4
BCS	1.27	1.24	1.23	1.19	1.20	1.16	1.15	1.09	1.00	1.27	9
後肢側望	1.08	1.06	1.06	1.03	1.08	1.03	1.08	1.14	1.15	1.12	4, 6
後肢後望	1.10	1.09	1.06	1.06	1.06	1.02	1.00	1.02	1.05	1.10	7
蹄の角度	1.12	1.08	1.05	1.01	1.00	1.01	1.05	1.10	1.16	1.16	5
歩様	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
前乳房の付着	1.86	1.64	1.49	1.25	1.22	1.22	1.05	1.06	1.00	1.86	9
後乳房の高さ	1.21	1.17	1.21	1.14	1.13	1.07	1.06	1.03	1.00	1.21	9
後乳房の幅	1.12	1.14	1.03	1.01	1.02	1.17	1.26	1.30	1.42	1.40	4
乳房の懸垂	1.59	1.43	1.32	1.09	1.00	1.06	1.03	1.14	1.26	1.59	5
乳房の深さ	2.31	2.15	1.97	1.77	1.53	1.27	1.18	1.15	1.03	2.24	9
前乳頭の配置	1.58	1.20	1.14	1.02	1.05	1.03	1.05	1.07	1.18	1.55	4
後乳頭の配置	1.12	1.05	1.13	1.00	1.00	1.06	1.02	1.18	1.11	1.18	5
乳頭の長さ	1.04	1.08	1.08	1.14	1.15	1.16	1.26	1.28	1.33	1.55	1

表4-4. 放し飼い集団における各体型形質の淘汰の相対リスク比、リスク比の割合および最適スコア

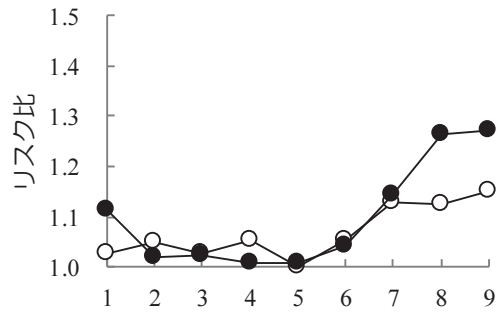
	線形スコア									リスク比 割合	最適 スコア
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
高さ	1.03	1.05	1.03	1.05	1.00	1.05	1.13	1.12	1.15	1.15	5
胸の幅	1.11	1.10	1.10	1.08	1.07	1.12	1.22	1.34	1.37	1.29	5
体の深さ	1.04	1.16	1.13	1.09	1.17	1.20	1.29	1.34	1.36	1.30	1
坐骨幅	1.10	1.07	1.04	1.04	1.07	1.15	1.15	1.22	1.24	1.20	4
尻の角度	1.14	1.09	1.08	1.06	1.08	1.10	1.08	1.04	1.17	1.13	8
鋭角性	1.11	1.06	1.04	1.00	1.06	1.05	1.12	1.18	1.22	1.22	4
BCS	1.32	1.33	1.29	1.26	1.27	1.22	1.20	1.13	1.09	1.22	9
後肢側望	1.06	1.05	1.06	1.00	1.10	1.07	1.09	1.06	1.15	1.15	4
後肢後望	1.18	1.08	1.05	1.06	1.04	1.02	1.04	1.05	1.06	1.16	6
蹄の角度	1.21	1.12	1.06	1.04	1.04	1.02	1.10	1.20	1.24	1.21	6
歩様	1.37	1.26	1.21	1.13	1.13	1.06	1.05	1.00	1.03	1.37	8
前乳房の付着	1.80	1.63	1.45	1.25	1.25	1.11	1.03	1.05	1.03	1.75	9
後乳房の高さ	1.26	1.25	1.21	1.25	1.12	1.14	1.06	1.03	1.07	1.22	8
後乳房の幅	1.10	1.13	1.05	1.00	1.07	1.10	1.23	1.22	1.25	1.25	4
乳房の懸垂	1.48	1.39	1.24	1.05	1.02	1.03	1.05	1.02	1.16	1.46	8
乳房の深さ	2.38	2.24	1.99	1.69	1.47	1.39	1.17	1.07	1.00	2.38	9
前乳頭の配置	1.40	1.18	1.13	1.00	1.03	1.03	1.04	1.10	1.02	1.40	4
後乳頭の配置	1.19	1.04	1.08	1.07	1.08	1.01	1.05	1.11	1.09	1.17	6
乳頭の長さ	1.13	1.05	1.00	1.02	1.11	1.13	1.19	1.20	1.17	1.20	3

肢蹄形質では全体で見ると中程度からそれ以下の貢献度であり、特に蹄の角度と後肢後望は FHL に対する貢献度が比較的低かった。後乳房の幅は、放し飼い集団において貢献度が顕著に高い傾向を示した。一方、鋭角性、前乳頭の配置および後乳房の高さは、放し飼い集団において顕著に貢献度が高い傾向がみられた。

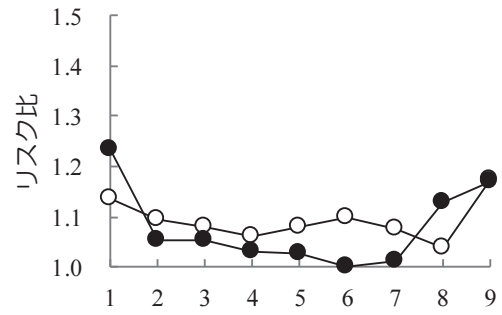
(3) 各体型形質の淘汰の相対リスク比

表 7-3 と表 7-4 および図 4-2 と図 4-3 には、それぞれ繋ぎ飼い集団および放し飼い集団における各体型形質の線形スコアに対する淘汰の相対的リスク比を示した(附表 7-1 と附表 7-2 を参照)。ここで淘汰の相対リスク比とは、繋ぎ飼いと放し飼いの 2 集団の中で形質ごとに最もリスク比が低いスコアを 1 とし、各スコアにおける淘汰の危険度が何倍高いまたは低いかで示した数字である。表 7-3 と表 7-4 に示したリスク比の割合は、最低の相対リスク比に対する最高の相対リスク比の割合とし、相対リスクの変動幅を示した。また、最適スコアとは各形質において淘汰のリスク比が最も低いスコアである。体のサイズに関係する形質として、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅は、スコア 1 から 5 または 6 程度まで淘汰のリスク比に大きな差異がないが、それよりもスコアが高くなるとリスク比の上昇が認められ、体のサイズの大型化は生産寿命の短縮要因であることを示唆した。

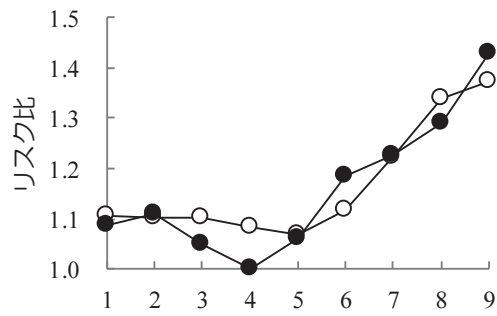
高さ



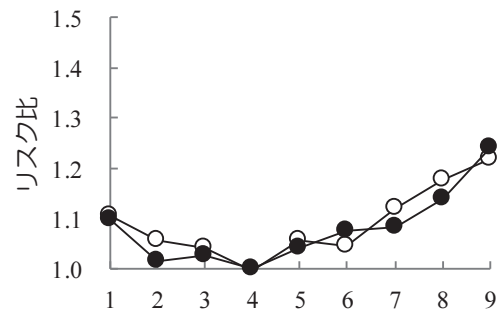
尻の角度



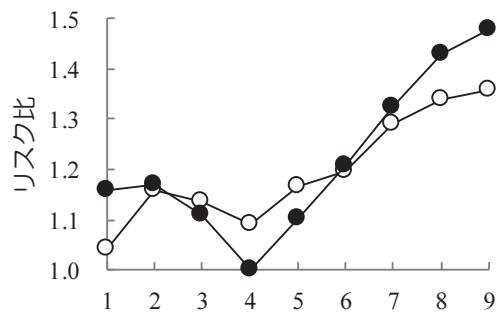
胸の幅



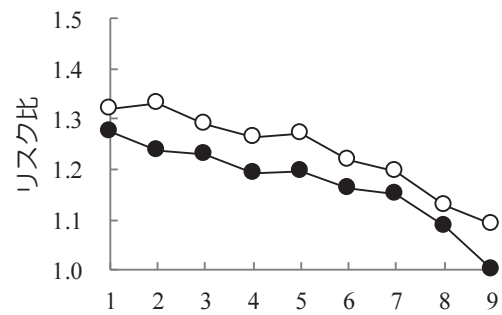
鋭角性



体の深さ



BCS



坐骨幅

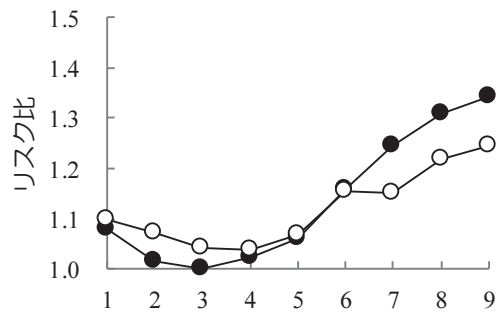
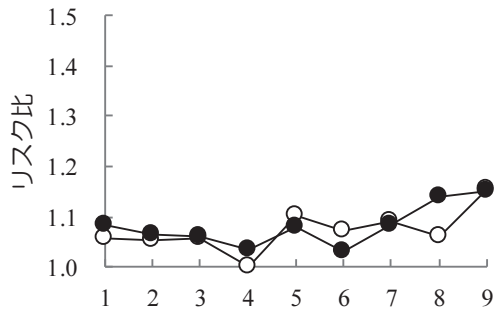


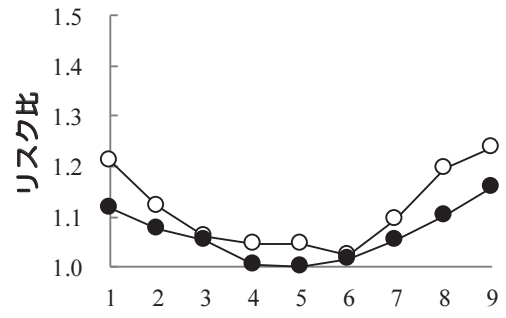
図4-2. 線形形質の各スコア（横軸）に対する相対リスク比（縦軸）(1)

●：繋ぎ飼い、○：放し飼い

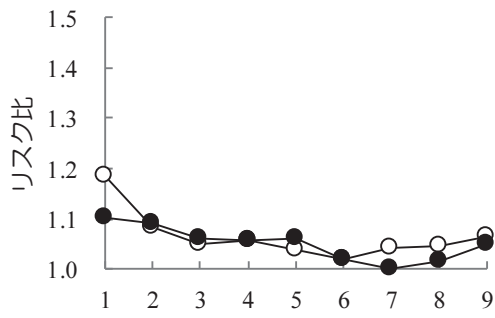
後肢側望



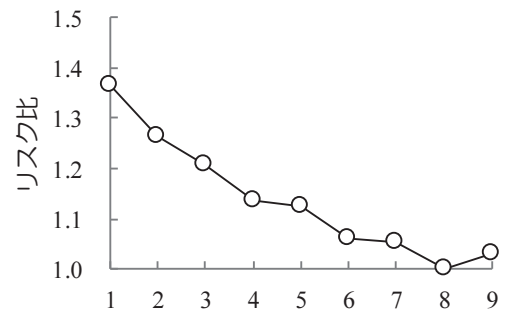
蹄の角度



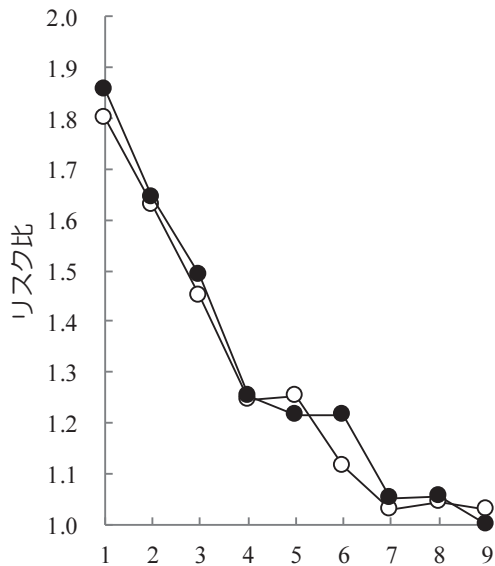
後肢後望



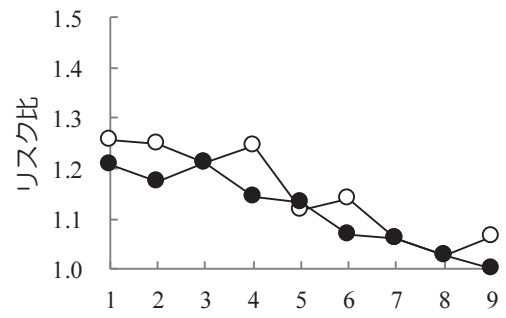
歩様



前乳房の付着



後乳房の高さ



後乳房の幅

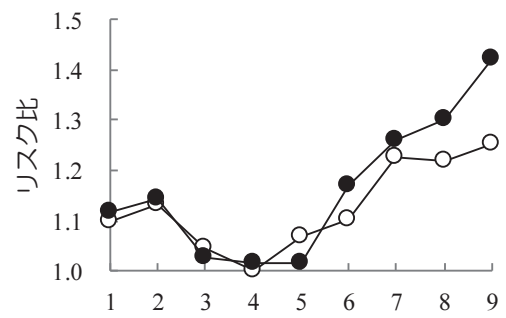
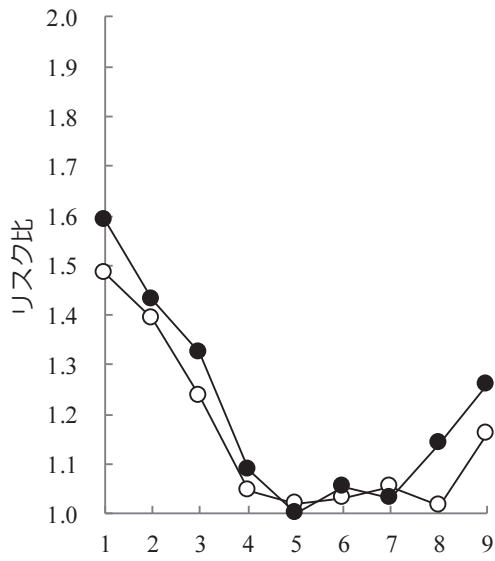


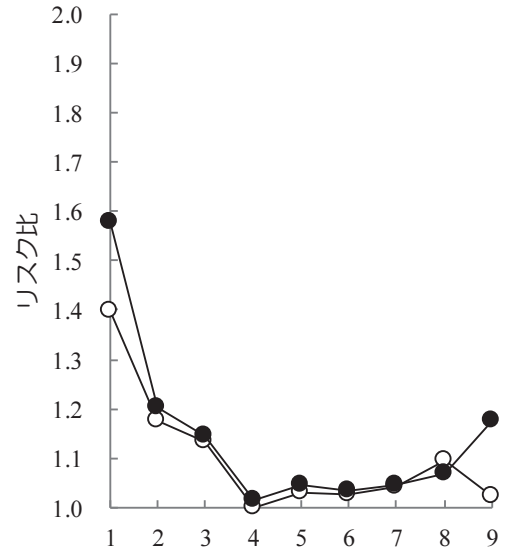
図4-3. 線形形質の各スコア（横軸）に対する相対リスク比（縦軸）(2)

●：繋ぎ飼い、○：放し飼い

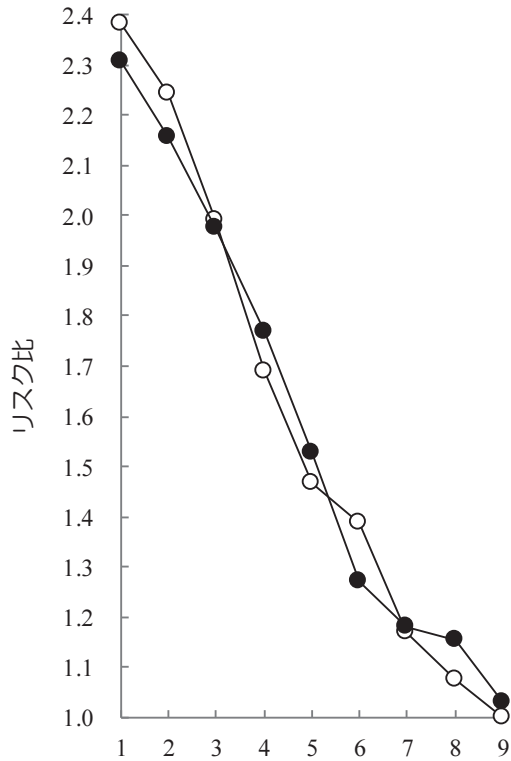
乳房の懸垂



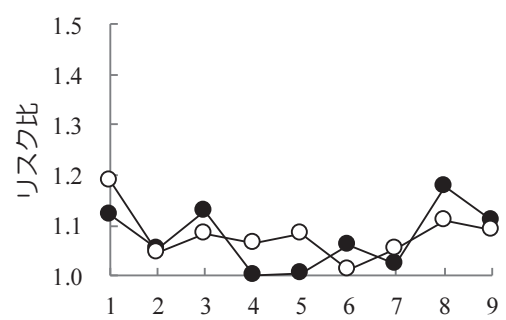
前乳頭の配置



乳房の深さ



後乳頭の配置



前乳頭の長さ

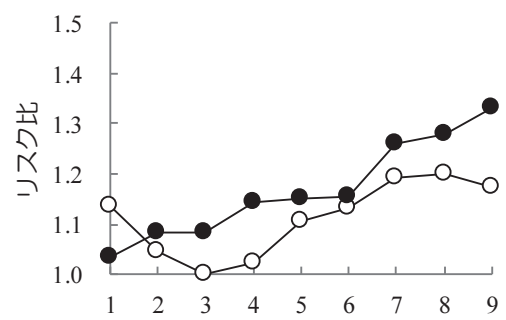


図44. 線形形質の各スコア（横軸）に対する相対リスク比（縦軸）(3)

●：繋ぎ飼い、○：放し飼い

特に、繋ぎ飼いは放し飼いと比較し、サイズの大型化に伴い、淘汰のリスク比が高く推定された。それゆえ、体のサイズの大型化は、繋ぎ飼いの方が生産寿命の短縮に対し比較的大きい影響があると推察された。体の大きさに関する傾向は米国のホルスタインに関する報告と一致した(Caraviello ら, 2004)。

鋭角性はスコアの上昇と共に淘汰のリスク比が上昇する一方、BCS は鋭角性と反対の傾向である低下を示した。肢蹄形質の中で、淘汰のリスク比が比較的顕著に見られたのは歩様であり、スコア 1(跛行)の個体は望ましい歩様と比較し、淘汰のリスク比が 1.4 倍高いことが明らかになった。蹄の角度は中等度に当たるスコア 4 から 6 近辺で淘汰のリスク比が最低になり。スコア 1(低い蹄)あるいはスコア 9(立ち蹄)に接近するほど淘汰のリスク比が上昇した。その他、後肢側望はスコアに対して若干の上昇、後肢後望は若干の減少傾向が見られたに過ぎなかった。

次に乳房に関連する形質として、淘汰のリスク比が最も顕著に見られたのは乳房の深さであり、繋ぎ飼いの集団においてスコア 1 の 2.31 からスコア 9 の 1.03、放し飼いの集団では同様に 2.38 から 1.00 に低下した。リスク比の割合は繋ぎ飼いの集団で 2.24、放し飼いの集団で 2.38 であり、乳房の深さが最も高いスコア 9 と比較し、スコア 1 に属する個体は繋ぎ飼いの集団で 2.24 倍、放し飼いの集団で 2.38 倍の淘汰のリスクが高いことが判明した。次にリスク比の変化が大きい形質は前乳房の付着であり、スコアに対して低下する傾向を示した。その他、後乳房の高さもスコアに対して淘汰のリスク比が低下する傾向を示した。乳房の懸垂はスコア 1 において最も淘汰のリスク比が高く、スコア 5 近辺までリスク比の低下が見られるが、懸垂が強いスコア 8 または 9 においても若干リスク比が高くなることが判明した。前乳頭の配置は、乳頭の極度な外付きを示すスコア 1 において最も高い淘汰のリスク比を示すが、中央から内付きにかけてのスコア 4 以上ではリスク比に大きな変化は見られなかった。

一方、前乳頭の長さはスコアに対して淘汰のリスク比が上昇傾向を示した。また、乳頭がより長い個体は放し飼いと比較し、繋ぎ飼いの集団において淘汰の危険性が高かった。後乳房の幅は中等度であるスコア 5 または 6 まで淘汰のリスク比に大きな変化を認めなかったが、それ以降、スコアの上昇と共に淘汰の危険性が上昇し、その傾向は繋ぎ飼いの集団で顕著であった。後乳房の幅の結果は、スコアに対して淘汰のリスク比が低下する米国のホルスタイン集団から得られた結果(Caraviello, 2004)と異なっていた。乳房に関しては、乳房底面が高く、前乳房の付着が強い雌牛ほど淘汰の危険性が低いことが示唆された。

4. 結論

体のサイズは、生産寿命の延長を目的に選抜する場合、スコア 5 または 6 を上限にそれ以上大きくならないような改良を進める必要があると推察された。肢蹄は体の大

きさと比較して淘汰のリスク比が小さかったが、生産寿命の延長に対し歩様の改良が有効であると考えられた。また、中程度の蹄の角度は生産寿命の延長に寄与できると推察された。高さ、体の深さ、坐骨幅および蹄の角度は、繋ぎ飼いと放し飼いの両集団で淘汰のリスク比に幾分かの差異が認められることから、生産寿命を改良するための各種体型を使用した選抜指数は、牛舎形態によりそれぞれ重み付けが異なるものを開発する必要性が示唆された。

5. 参考文献

- 1) Caraviello DZ, Weigel KA, Gianola D. 2004. Prediction of longevity breeding values for US Holstein sires using survival analysis methodology. *J. Dairy Sci.* 87: 3518–3525.
- 2) Ducrocq V. 1994. Statistical analysis of length of productive life for dairy cows of the Normande breed. *J. Dairy Sci.* 77: 855-866.
- 3) Ducrocq, V., S olkner, J. and Meszaros G. 2010. Survival Kit v6 - a Software Package for Survival Analysis. In: 9th World Cong. Genet. Appl. Livest. Prod., Leipzig, Germany.
- 4) Dürr JW, Monardes HG, Cue RI. 1999. Genetic analysis of herd life in Quebec Holsteins using Weibull models. *J. Dairy Sci.* 82: 2503-2513.
- 5) Sewalem A, Kistemaker GJ, Miglior F, Van Doormaal BJ. 2004. Analysis of the relationship between type traits and functional survival in Canadian Holsteins using a Weibull proportional hazards model. *J. Dairy Sci.* 87: 3938–3946
- 6) Terawaki Y, Katsumi T, Ducrocq V. 2006. Development of a survival model with piecewise Weibull baselines for the analysis of length of productive life of Holstein cows in Japan. *J. Dairy Sci.* 89: 4058-4065.

第5章 体型測尺形質における成長曲線モデルの検討

1. はじめに

日本ホルスタイン登録協会は、一般の酪農家や国および都道府県の畜産試験研究の関係機関(以下、試験研究機関という)で飼養されている体型測尺データを用いてホルスタイン種雌牛の正常発育曲線または標準発育曲線を定期的に推定してきた。最近の発育値は平成 7(1995)年に開発したものであるが、それからすでに 20 年以上の時間が経過し、その間に酪農を取り巻く環境は大きく変化している。具体的に、一戸当たりの飼養頭数は年々増加傾向にあり、令和元年には 88.8 頭(農林水産省 2019)と前年よりも 4.2 頭増え、酪農経営の大規模化が進んでいる。また、性選別精液による効率的な後継牛の確保、搾乳ロボットの導入による作業の省力化、さらに飼料生産、育成管理あるいは搾乳管理の分業化など乳用牛の飼養環境は多様化している。さらには、乳牛の遺伝的改良に伴い一頭当たりの生産乳量は増加し、乳房や肢蹄などの体型形質の改良も進んでいる。

本研究の最終目的は、ホルスタイン雌牛において生産寿命の延長が期待できる最適な発育過程を把握し、その結果に基づき育成期の標準成長曲線を設定することである。初めに本分析では、ホルスタイン雌牛の各体型測尺部位を対象に各種の成長曲線モデルの適合性に関する調査を行った。

2. 材料および方法

(1) 体型測尺データの収集

成長曲線モデルの適合性調査には、試験研究機関で収集されたホルスタイン雌牛の体型測尺データ(以下、試験場データという)を使用した。表 5-1 には、19 の試験研究機関において体型測尺を実施した雌牛のうち、2000 年から 2015 年の期間に誕生した雌牛の頭数および記録数を示した。分析に使用した体型測尺形質は、体重(kg)、体高(cm)、腰角幅(cm)、尻長(cm)および胸囲(cm)の 5 部位であり、各形質により雌牛頭数と記録数が異なる。これらの雌牛頭数と記録数は、体重において 6,451 頭と 207,583 記録、体高において 6,623 頭と 132,340 記録、腰角幅において 7,173 頭と 90,364 記録、尻長において 7,181 頭と 90,346 記録、さらに胸囲において 7,271 頭と 99,981 記録であった。地域的には、日本で酪農が盛んな北海道において 3 カ所の試験研究機関からの協力が得られ、岩手県および千葉県試験研究機関からも多くの測尺記録の提供があった。さらに、岐阜県、兵庫県および島根県など西日本の地域からも測尺記録の提供があり、本分析では日本全国のデータを利用することができた。

表 5-1. 試験研究機関において収集されたホルスタイン雌牛に関する体型測尺データの測尺頭数および記録数

	体重		体高		腰角幅		尻長		胸囲	
	頭数	記録数	頭数	記録数	頭数	記録数	頭数	記録数	頭数	記録数
独立行政法人 家畜改良センター新冠牧場	1,955	54,871	1,954	43,163	2,580	28,896	2,580	28,894	2,580	28,887
独立行政法人 家畜改良センター岩手牧場	2,917	118,048	2,893	47,275	2,889	30,272	2,889	30,269	2,888	30,262
国立研究開発法人 農研機構 北海道農業研究センター	427	8,222	427	8,293	427	8,293	427	8,293	427	8,292
地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 酪農試験場	692	14,965	690	14,816	690	12,631	690	12,542	710	13,898
地方独立行政法人 青森県産業技術センター 畜産研究所	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
岩手県 農業研究センター 畜産研究所	71	926	-	-	-	-	-	-	-	-
山形県 農業総合研究センター	23	912	23	599	-	-	-	-	23	592
宮城県 畜産試験場	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
福島県 農業総合センター 畜産研究所	-	-	-	-	-	-	-	-	10	82
群馬県 畜産試験場	-	-	81	946	58	58	58	58	81	947
茨城県 農林水産部畜産センター	-	-	-	-	69	377	69	377	-	-
公益財団法人 東京都農林水産振興財団 東京都農林総合研究センター	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
千葉県 畜産総合研究センター	-	-	153	6,778	153	6,777	153	6,771	143	6,761
岐阜県 畜産研究所 酪農研究部	217	6,118	206	6,050	152	1,339	152	1,343	217	6,049
兵庫県立農林水産技術総合センター 淡路農業技術センター	-	-	47	1,572	48	1,572	48	1,572	48	1,568
愛媛県 農林水産研究所畜産研究センター	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
島根県 畜産技術センター	71	2,651	71	2,591	34	76	32	72	71	2,543
佐賀県 畜産技術振興センター	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
長崎県 農林技術開発センター 畜産研究部門	24	816	24	203	19	19	19	19	19	19
合計 (19 機関)	6,451	207,583	6,623	132,340	7,173	90,364	7,181	90,346	7,271	99,981

なお、体重の記録は重量計により測定されたものを使用し、胸囲に基づく体重の推定記録(体重推定尺によるもの)は分析から除外した。また、体高はき甲部の測尺値である。

次に、試験研究機関で収集されたホルスタイン雌牛の体型測尺値が一般の酪農家で飼養されている雌牛の測尺値と比較するため、本分析では2017年から2019年までの3年間において別途、酪農家で飼養されている雌牛からも定期的に体型測尺データ(以下、フィールドデータという)を収集した。表5-2には酪農家が飼養するホルスタイン雌牛の体高(き甲部と十字部)、腰角幅、尻長および胸囲の5形質を測尺し、誕生日ごとに集計した雌牛数と記録数を示した。記録は、生時月齢から初産分娩後早い時期までに最低2回以上測尺することにしたが、中には1回しか記録が得られなかった雌牛も含まれている。また、フィールドデータは、北海道の4戸から得られた488頭および2,954記録が最も多く、関東からは群馬県、茨城県、埼玉県、千葉県および神奈川県酪農家9戸の協力が得られた。さらに、秋田県からは短期間であるが、1戸の農家の協力が得られた。その結果、酪農家が飼養しているホルスタインからは、898頭の雌牛、4,214頭の測尺記録を本分析に使用することができた。

なお、試験研究機関で飼養されている雌牛の父が一般酪農家で飼養されている雌牛の父とほとんど大きな差異がないことを事前に確認していることから、両集団の雌牛は遺伝的におおきな違いがないものと推察される。

表 5-2. 酪農家が飼養するホルスタイン雌牛の誕生日ごとの測尺頭数および記録数

地域	農家 戸数	誕 生 年									
		頭 数					記 録 数				
		2016	2017	2018	2019	合計	2016	2017	2018	2019	合計
北海道	4	-	161	197	130	488	-	1,442	1,215	297	2,954
秋田県	1	10	4	-	-	14	16	8	-	-	24
群馬県	1	-	12	16	-	28	-	51	44	-	95
茨城県	2	-	45	64	-	109	-	164	146	-	310
埼玉県	2	1	10	19	4	34	3	36	47	7	93
千葉県	3	19	66	84	16	185	60	273	251	28	612
神奈川県	1	4	17	15	4	40	4	74	43	5	126
合 計	14	34	315	395	154	898	83	2,048	1,746	337	4,214

(2) 体型測尺データの編集

成長曲線を推定するに当たり、試験場データからは各測尺部位で月齢ごとに標準偏差の3倍(3 σ)より外れる値を異常値と仮定し、そのデータを分析から除外する編集を行った。次に、形質ごとに生後3ヵ月齢以内に1記録以上を有

し、かつ35ヵ月齢以内に5記録以上有する雌牛をそれぞれ抽出した。2002年以前生まれの雌牛は記録数が非常に少ないことから分析に適さないと判断し削除した。以上の編集によって成長曲線の推定には、体重において3,263頭および113,599記録、体高において3,354頭および65,689記録、腰角幅において3,628頭および54,066記録、尻長において3,623頭および54,053記録、さらに胸囲において3,694頭および57,349記録を使用することができた(表5-3)。

一方、2017年から2019年までの3年間のフィールドデータは、2016年6月から2019年8月までに誕生した雌牛の記録であり、異常値がないことから特にデータを編集することもなく、試験研究機関の雌牛が一般酪農家で飼養されている雌牛と体格的に差異があるかを比較検討するために使用した。なお、酪農家から収集した体重の記録は、前述どおり推定尺により胸囲から推定されているため、本分析において利用しなかった。

表5-3. 分析に利用した各測尺形質の誕生日ごとの測尺頭数および記録数

誕生日	体重		体高		腰角幅		尻長		胸囲	
	雌牛	記録数	雌牛	記録数	雌牛	記録数	雌牛	記録数	雌牛	記録数
2003	47	1,947	49	1,315	148	1,943	148	1,946	148	2,246
2004	160	7,641	168	4,825	286	3,832	283	3,812	281	4,097
2005	171	7,559	174	4,304	311	4,156	311	4,139	311	4,492
2006	320	10,523	333	6,412	334	4,648	334	4,646	335	4,588
2007	332	10,918	340	6,398	330	5,023	328	4,985	324	5,152
2008	323	10,897	335	5,993	326	4,819	326	4,824	338	5,290
2009	281	9,005	301	5,642	296	4,726	296	4,729	308	5,145
2010	347	12,036	347	6,661	340	5,463	340	5,472	353	5,837
2011	314	10,448	315	5,912	308	4,941	308	4,959	316	5,173
2012	293	10,957	297	5,493	288	4,478	288	4,491	293	4,626
2013	305	10,308	313	5,662	297	4,479	297	4,484	307	4,748
2014	261	8,607	265	4,999	254	3,917	254	3,924	263	4,171
2015	109	2,753	117	2,073	110	1,641	110	1,642	117	1,784
合計	3,263	113,599	3,354	65,689	3,628	54,066	3,623	54,053	3,694	57,349

(3) 成長曲線の推定

成長曲線を推定するため本分析では、Brody(BM)、Logistic(LM)、Von Bertalanffy (VM)、Gompertz(GM)および Richards(RM)の5つの非線形モデルを仮定した。

$$\begin{aligned}
 \text{BM} & y = A(1 - Be^{-kt}) \\
 \text{LM} & y = A/(1 + Be^{-kt}) \\
 \text{VM} & y = A(1 - Be^{-kt})^3 \\
 \text{GM} & y = Ae^{-Be^{-kt}} \\
 \text{RM} & y = A(1 - Be^{-kt})^m
 \end{aligned}$$

ここで、 y は体型測尺記録、 A は成熟値、 k は成長速度、 B は積分定数、 m は曲線の型を規定する値、 t は測尺時月齢である。モデルの適合性は、平均平方誤差(MSE)、赤池の情報量規準(AIC)および決定係数(R^2)を指標に判断した。分析には SAS の nlin プロシジャ(version 9.4, SAS Institute Inc.)を使用した。

3. 結果および考察

(1) 試験研究機関と酪農家の体型測尺データの比較

本分析では試験研究機関から得られた体型測尺記録を使用して成長曲線を推定したが、この調査ではこれらの成長曲線の様相が一般酪農家で飼養されている雌牛と大きな差異がないという前提に立脚していることから、初めに試験研究機関と酪農家の体型測尺データの比較を行った。

フィールドデータは前述したように 2017 年から 2019 年までの 3 年間に収集した記録であり、これらは 2016 年 6 月から 2019 年 8 月までに誕生した雌牛からのものに相当する。一方、これと比較するため試験場データは、最近の記録である 2015 年生まれの雌牛記録を使用した。

図 5-1(a)には体高および腰角幅、図 5-1(b)には尻長および胸囲に関して試験場データとフィールドデータを比較するため、それぞれ月齢に対する平均値の推移を示した。酪農家で飼養されている雌牛の体高は、試験研究機関のそれと比較し、すべての月齢に対して高い傾向が認められた。酪農家からの記録は試験研究機関のそれと比較し数年だが最近生まれた雌牛であることから、近年におけるホルスタインの大型化が影響しているものと推察される。体高は生時月齢の平均値で差異が大きく平均 3.9 cm、その後 16 ヶ月齢まで差異は縮小されるが、初産分娩月齢に相当する 20 から 26 ヶ月齢において平均 1.7 から 2.9 cm の範囲で酪農家の雌牛が高い傾向を示した。このことから、体高の成長曲線は、試験研究機関と酪農家の雌牛において若干の違いがあるものと推察された。

腰角幅と尻長は、特に試験研究機関における 20 ヶ月齢以上のデータ数が少なく、平均値の変動が拡大する傾向があるが、育成期から初妊期の成長過程を見ると酪農家の雌牛は、試験研究機関の雌牛と比較し、加齢に伴い平均で 1 cm から 2 cm 程度の範囲で差異が拡大する傾向があった。また、酪農家の雌牛の胸囲は、腰角幅と尻長と同様に、試験研究機関の雌牛よりも若干大きい傾向を示した。なお、酪農家飼養の雌牛の体重は推定尺を使用し、胸囲から間接的に体重を推定した数値であるが、現在使用されている推定尺は数十年前に作成されたため推定精度に疑問が残る。それゆえ、本分析では重量計に基づいて測定された試験研究機関の記録と直接比較することを避けた。

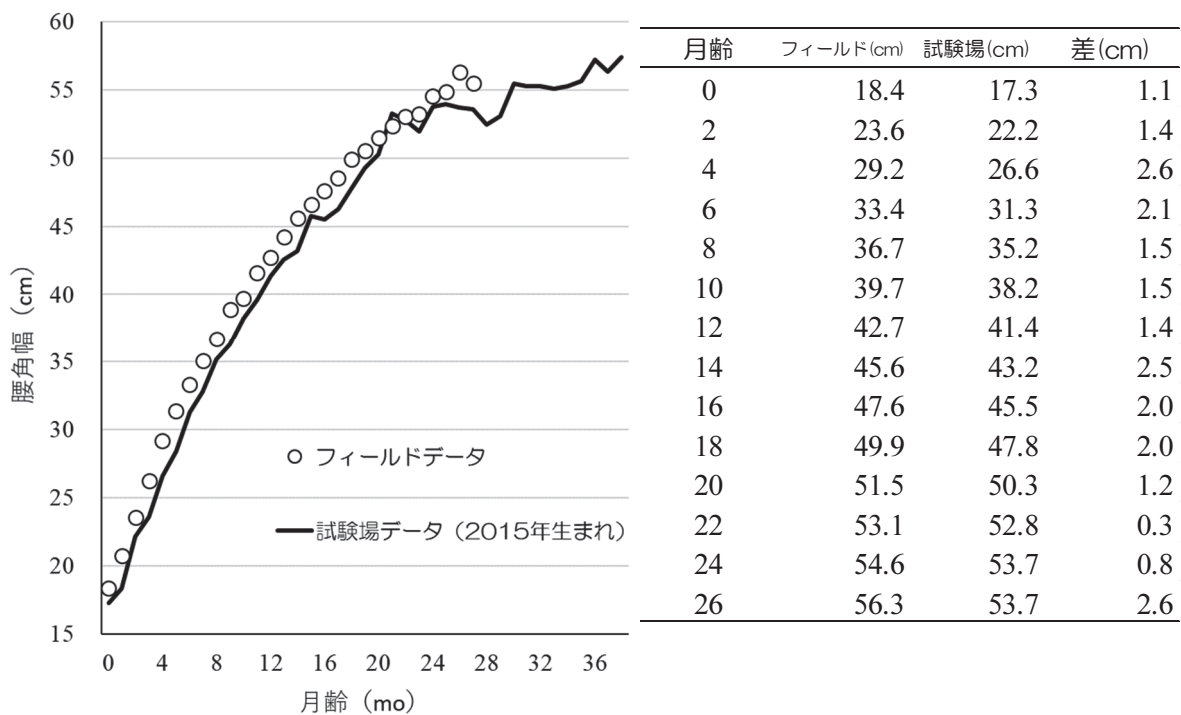
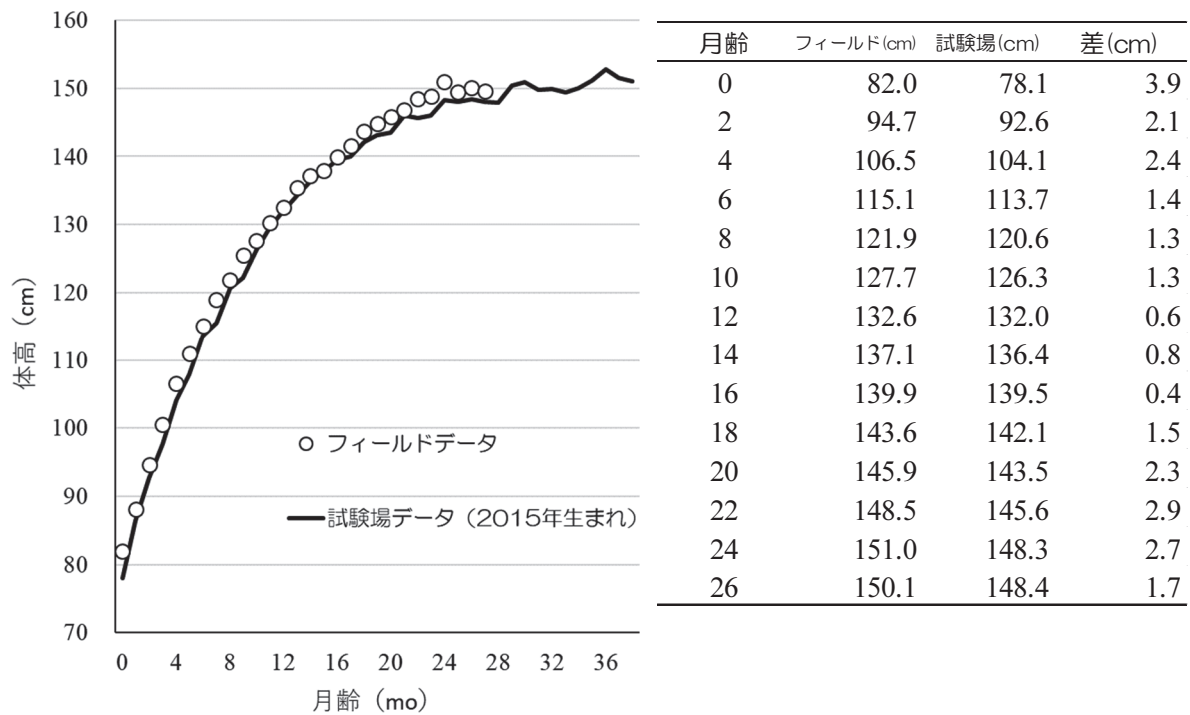


図 5-1(a). 形質ごとのフィールドデータ(2016年6月~2019年8月収集)と試験場データ(2015年生)の比較(上:体高、下:腰角幅)

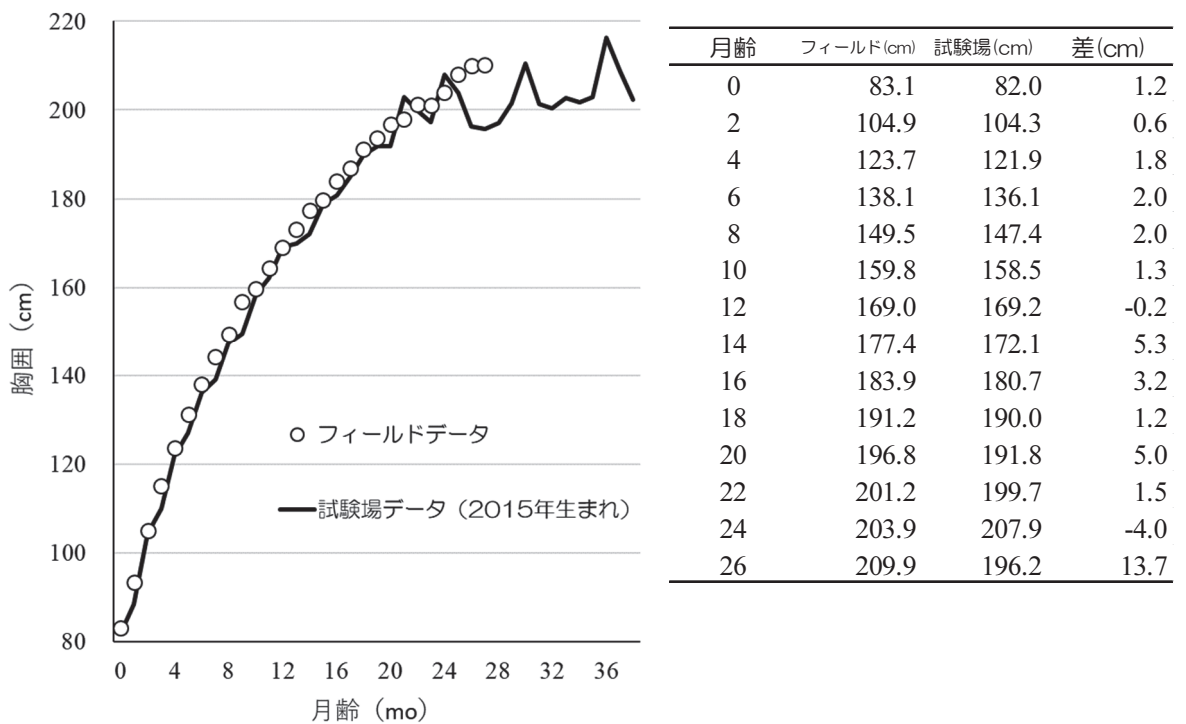
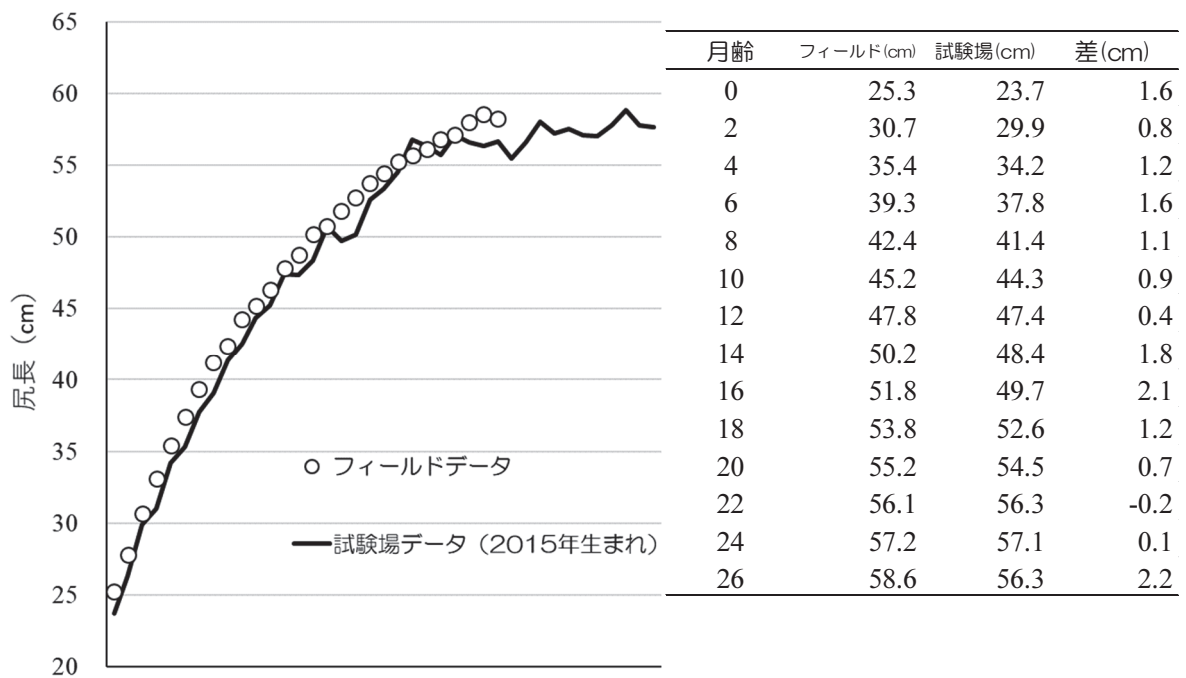


図 5-1(b). 形質ごとのフィールドデータ(2016年6月~2019年8月収集)と試験場データ(2015年生)の比較(上：尻長、下：胸囲)

以上のことから、試験研究機関と酪農家における雌牛の成長過程には、若干の差異が認められたが、この違いはホルスタインの大型化の傾向が影響している可能性があるため、さらに詳細な調査が求められる（続きの分析は第6章で実施）。

（2）成長曲線のパラメータの比較

成長曲線は、2003年から2015年に誕生したすべての雌牛記録(表5-3)を使用し、5種類の非線形モデルにより推定した。表5-4には各モデル式より推定された成長曲線のパラメータを示した。また、図5-2(a)から図5-2(c)には5種類の統計モデルのパラメータを使用し、体重、体高、腰角幅、尻長および胸囲の成長曲線を示した。成熟値は体重において725.0 kg(LM)から803.0 kg(BM)、体高において150.4 cm(LM)から152.4 cm(BM)、腰角幅において58.1 cm(LM)から60.9 cm(BM)、尻長において58.8 cm(LM)から60.3 cm(BM)および胸囲において212.0 cm(LM)から217.2 cm(BM)であった。このように成熟値はすべての形質においてLMにおいて最も低く、反対にBMにおいて最も高く推定された。次に成長速度は体重において0.06(BM)から0.16(LM)、体高において0.10(BMとRM)から0.14(LM)、腰角幅において0.07(BM)から0.14(LM)、尻長において0.09(BM)から0.14(LM)および胸囲において0.09(BM)から0.14(LM)の範囲にあった。

LMを使用した成長曲線は成長速度が速く、比較的早期の月齢で成熟する傾向があり、一方BMの場合は成長速度が遅く、成熟月齢が遅くなるため成熟値が高くなる傾向にあった。このようなBMで認められる成熟期付近における過大推定は寺脇ら(1996)も指摘している。

積分定数は、体重において0.61(VM)から6.70(LM)、体高において0.20(VM)から0.89(LM)、腰角幅において0.34(VM)から2.05(LM)、尻長において0.27(VM)から1.38(LM)および胸囲において0.27(VM)から1.44(LM)の範囲にあった。RMにおいて曲線の形状を示すパラメータ m は体重において2.23、体高において1.05、腰角幅において1.14、尻長において1.94 および胸囲において1.52であり、すべての形質でBMの $m=1$ からVMの $m=3$ の範囲で推定された。

（3）成長曲線モデルの適合性

表5-5には、5種類の統計モデルから推定された成長曲線の適合性を比較するため、MSE、AIC および R^2 を示した。ここで、MSE および AIC は値が小さいほど、 R^2 は値が1に近いほど適合性が高いことを示している。RM は MSE、AIC および R^2 からすべての形質において最も適合性が高いことが推察された。

表 5-4. 各モデル式より推定された形質ごとの成長曲線のパラメータ

形質	モデル	パラメータ			
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>k</i>	<i>m</i>
体重	Brody	803.0	1.01	0.06	
	Logistic	725.0	6.70	0.16	
	Von Bertalanffy	756.8	0.61	0.09	
	Gompertz	745.3	2.48	0.11	
	Richards	761.7	0.74	0.08	2.23
体高	Brody	152.4	0.50	0.10	
	Logistic	150.4	0.89	0.14	
	Von Bertalanffy	151.6	0.20	0.11	
	Gompertz	151.3	0.66	0.12	
	Richards	152.3	0.48	0.10	1.05
腰角幅	Brody	60.9	0.74	0.07	
	Logistic	58.1	2.05	0.14	
	Von Bertalanffy	59.6	0.34	0.09	
	Gompertz	59.1	1.20	0.10	
	Richards	60.6	0.68	0.08	1.14
尻長	Brody	60.3	0.62	0.09	
	Logistic	58.8	1.38	0.14	
	Von Bertalanffy	59.7	0.27	0.10	
	Gompertz	59.4	0.91	0.11	
	Richards	59.8	0.38	0.10	1.94
胸囲	Brody	217.2	0.63	0.09	
	Logistic	212.0	1.44	0.14	
	Von Bertalanffy	215.0	0.27	0.11	
	Gompertz	214.1	0.94	0.12	
	Richards	216.0	0.48	0.10	1.52

表 5-6 では、MSE および AIC を使用し、月齢の範囲ごとに 5 種類の統計モデルの適合性を比較した。体重の場合、出生時から 12 カ月齢までの範囲では VM(MSE:497、AIC:306188)が最も適合性が高かった。同様に 13 から 24 カ月齢において LM(MSE:2,468、AIC:298,635)、25 から 36 カ月齢において BM(MSE:4,494、AIC:269,485)、37 から 48 カ月齢において GM(MSE:6,208、AIC:196,666)、49 から 60 カ月齢において RM(MSE:7,593、AIC:92,486)および 61 から 72 カ月齢において BM(MSE:8,758、AIC:34,849)の各モデルの適合性が優れていた。以上のことから、すべての月齢を通じて全体的に適合性の高い成長曲線モデルは 4 種のパラメータを持つ RM であったが、月齢範囲で調査した場合、必ずしも RM だけが適合性の高いモデルではないことが明らかになった。また、このような成長曲線の適合性は、表 5-6 に示したように体高、腰角幅、尻長および胸囲においても同様な傾向を示した。Brown ら(1976)は成長曲線の当てはまりは月齢の範囲によって異なることを報告しており、今回の結果は同様の傾向を得ることができた。

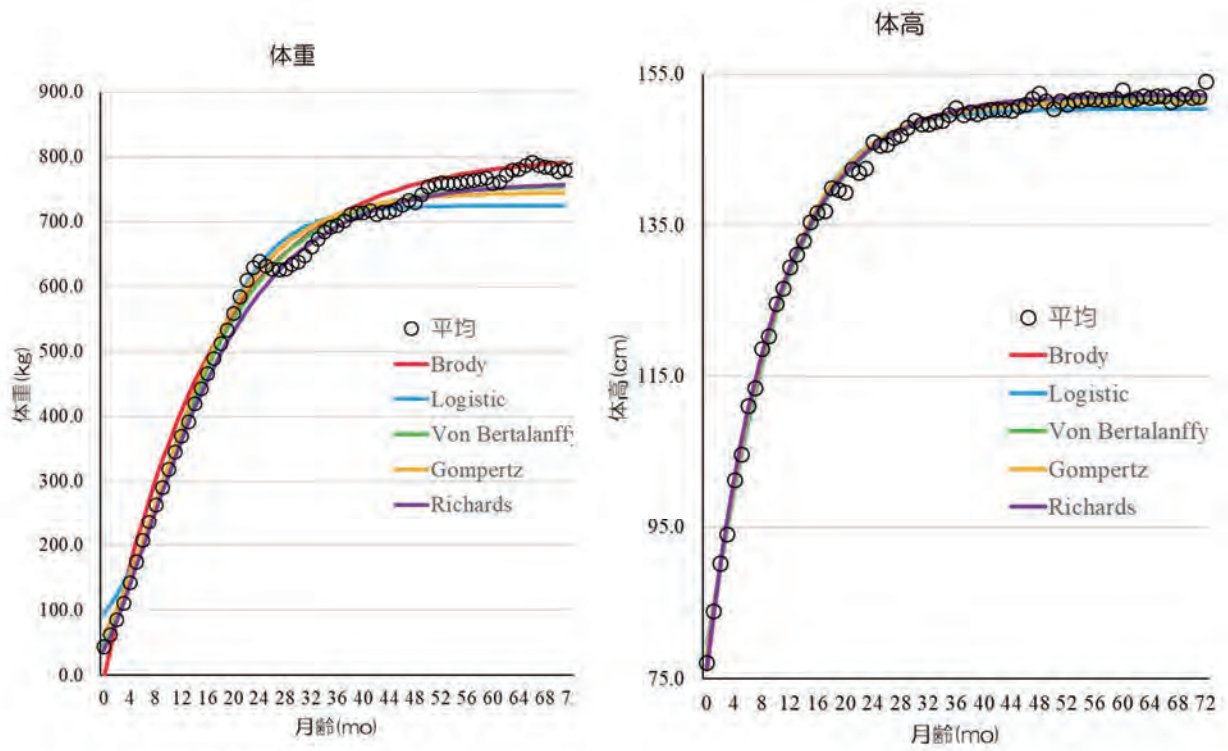


図 5-2(a). 各形質の実測値(平均)と各モデル式による成長曲線(上：体重、下：体高)

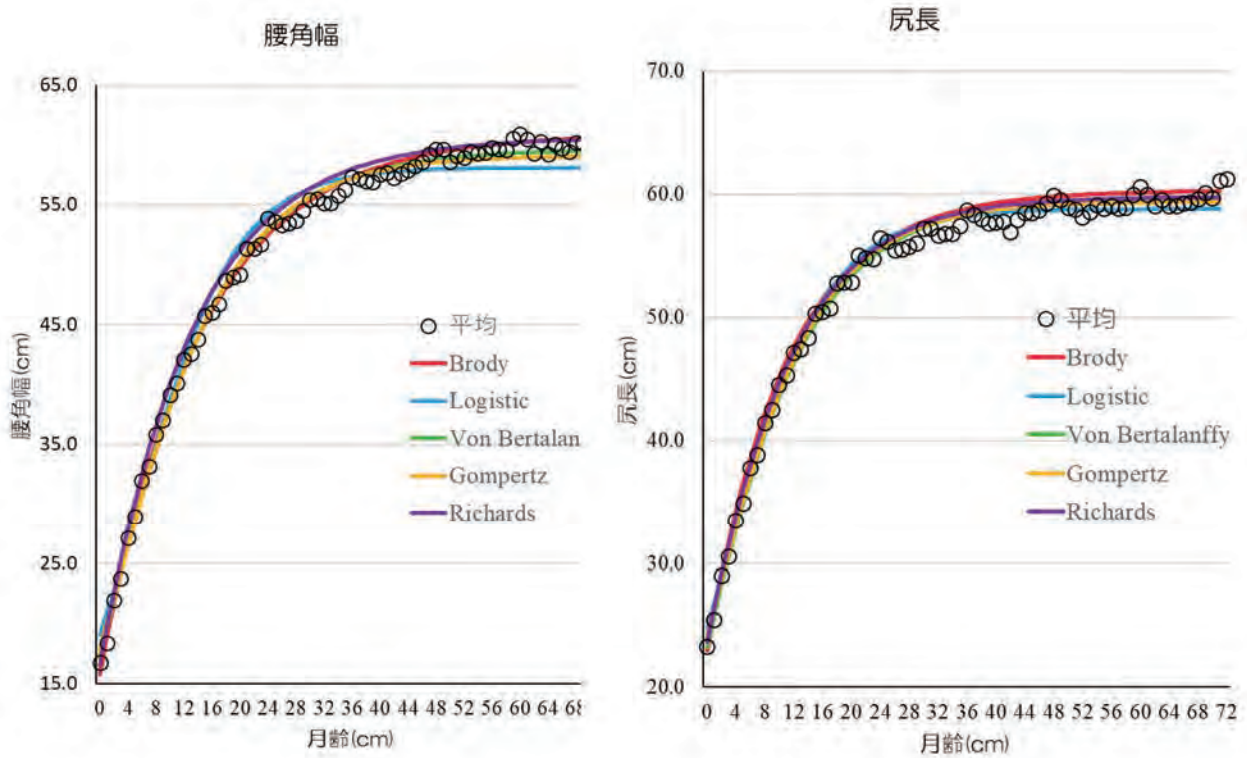


図 5-2(b). 各形質の実測値(平均)と各モデル式による成長曲線(上：腰角幅、下：尻長)

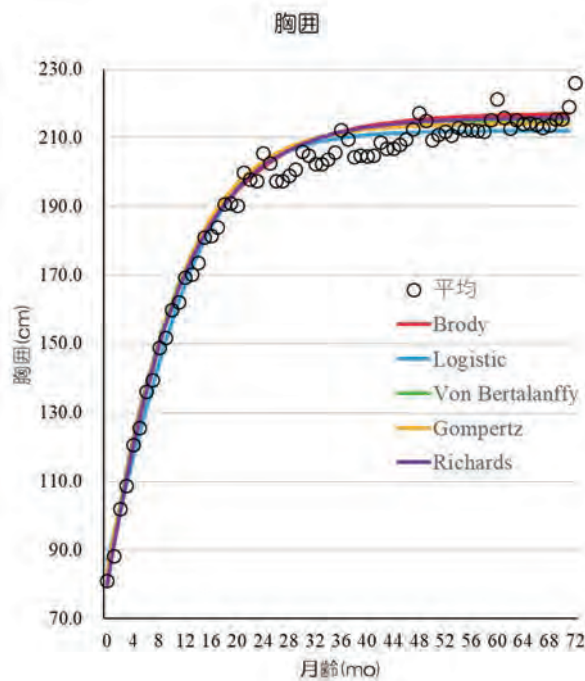


図 5-2(c). 各形質の実測値(平均)と各モデル式による成長曲線(胸囲)

次に図 5-3 には、体重における成長曲線の適合性を調査するため、図 5-2 に示した曲線を拡大して示した。体重における LM の適合性は若齢期に過大推定され、加齢とともに過小に推定される偏りが観測されたが、このような傾向は Brown ら(1976)、師ら(1984)および寺脇ら(1996)の報告と同様な結果が認められた。また、前述したように BM は成熟期において過大推定される傾向があった。さらに、表 5-6 の MSE と AIC から、12 カ月齢以下の範囲では VM において最も適合性が高かったが、図 5-3 により詳細に調査してみると出生後の数カ月は RM の方が適合性の高い傾向にあることが判明した。0 から 6 カ月齢の範囲では RM の適合性が高い傾向は、体重のみならず、体高、腰角幅、尻長および胸囲でも観測された。RM は曲線の形状を可變的に推定できることから、出生時から出生後の特徴的な成長過程を適切に説明できる可能性があり、このことが RM の適合性向上の要因と推察された。

4. 結論

本研究では、ホルスタイン雌牛の発育性を調査するために体重、体高、腰角幅、尻長および胸囲の測尺形質をそれぞれ非線形モデルに当てはめ、最適な成長曲線を検討した。最も適合性の高い成長曲線モデルは、すべての形質に関して MSE および AIC から RM であると判断された。しかし出生から成熟期までの月齢を幾つかに分割して適合性を調査した場合、最適な成長曲線モデルは月

齡の範囲により違いがあることが判明した。それゆえ、適合性の高い成長曲線を作成するには、測尺時月齡の範囲ごとに数種類のモデルを組み合わせる必要があるものと推察された。

5. 参考文献

- 1) Brown. J. E., H. A. Fitzhugh, T. C. Cartwright. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal of Animal Science*, 42: 810-818.
- 2) 師守堃, 平方健, 鈴木三義, 三好俊三, 光本孝次. 1984. 非線形成長曲線モデルを用いたホルスタイン雌牛の成長に関する研究. *帯大研報*. 14: 163-173.
- 3) Fitzhugh, Jha 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Science*, 42:1036-1051
- 4) 農林水産統計 2019. 農林水産省大臣官房統計部. [wedpage on the Internet]. 農林水産省. 東京都;[<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tikusan/>]
- 5) SAS Institute Inc. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Version 9.4. Cary, NC:SAS Institute, Inc.
- 6) 寺脇良悟, 新納正之, 山口齊, 熊田善一郎, 福田豊. 1996. ホルスタイン種雄牛の個体成長記録に対する非線形成長モデルの当てはめ. *北畜会報*. 38: 35-38.

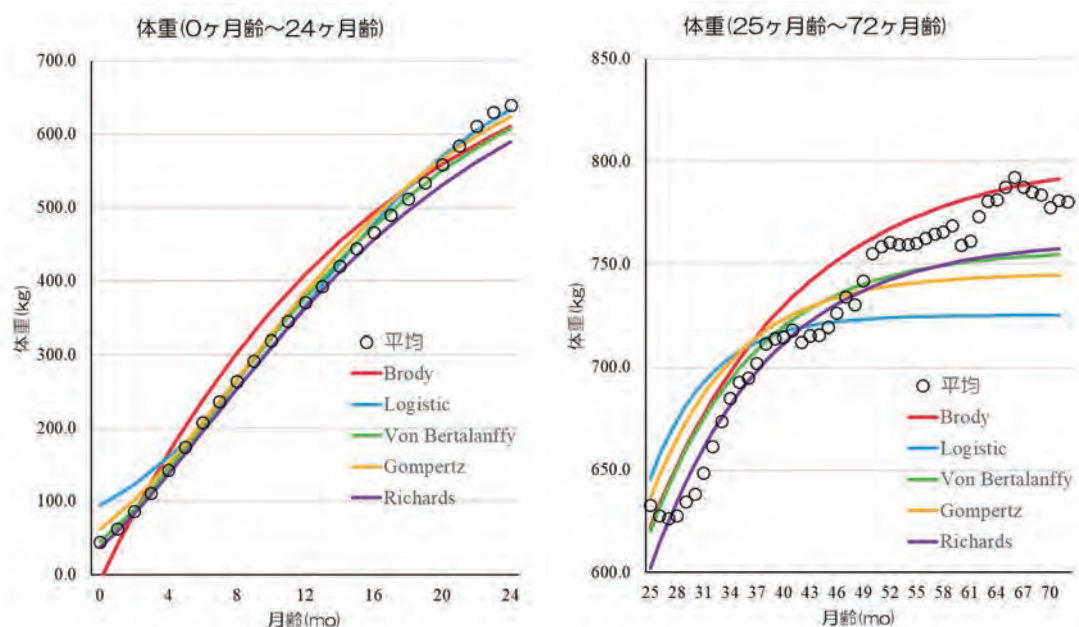


図 5-3. 体重における 0 から 24 カ月齢まで(左図)と 25 から 72 カ月齢まで(右図)の実測値(平均)と各モデル式による成長曲線の推定値

表 5-5. モデル式ごとの平均平方誤差(MSE)、赤池の情報量規準(AIC)および決定係数(R²)

モデル	体重			体高		
	MSE	AIC	R ²	MSE	AIC	R ²
Brody	3714.6	1256595	0.929	17.97	376163	0.962
Logistic	3894.4	1261966	0.926	19.12	380254	0.959
Von Bertalanffy	3532.4	1250880	0.933	18.11	376674	0.961
Gompertz	3585.3	1252569	0.932	18.28	377314	0.961
Richards	3527.9	1250737	0.933	17.96	376163	0.962

モデル	腰角幅			尻長		
	MSE	AIC	R ²	MSE	AIC	R ²
Brody	5.41	244726	0.968	5.42	244767	0.956
Logistic	6.50	254627	0.962	5.66	247116	0.954
Von Bertalanffy	5.54	245978	0.967	5.38	244373	0.956
Gompertz	5.72	247726	0.966	5.42	244726	0.956
Richards	5.40	244651	0.968	5.38	244322	0.956

モデル	胸囲		
	MSE	AIC	R ²
Brody	64.34	401571	0.961
Logistic	68.88	405477	0.958
Von Bertalanffy	64.26	401502	0.961
Gompertz	64.97	402128	0.961
Richards	64.01	401280	0.961

表 5-6. 月齢範囲を 6 つに分けた時の各形質における統計モデルごとの MSE および AIC

体重										
月齢期間	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC
0-12	892	325987	1086	332658	497	306188	575	311134	498	306291
13-24	2978	303908	2468	298635	2685	300999	2597	300064	2722	301392
25-36	4494	269485	4528	269668	4495	269490	4499	269514	4494	269486
37-48	6262	196813	6223	196707	6213	196678	6208	196666	6216	196690
49-60	7595	92486	7619	92510	7596	92486	7603	92494	7593	92486
61-72	8758	34849	8790	34860	8777	34856	8783	34858	8774	34857

体高										
月齢期間	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC
0-12	16.77	166641	17.86	168479	16.81	166706	16.97	166976	16.78	166657
13-24	18.62	123911	18.73	124027	18.65	123938	18.67	123958	18.62	123907
25-36	19.98	49559	20.32	49699	20.06	49589	20.11	49612	19.98	49556
37-48	18.63	20657	19.07	20740	18.78	20685	18.86	20700	18.62	20653
49-60	18.49	10985	18.60	10995	18.54	10988	18.56	10990	18.48	10982
61-72	17.46	4283	17.52	4284	17.49	4283	17.50	4283	17.46	4281

腰角幅										
月齢期間	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC
0-12	3.74	105414	5.01	112817	3.86	106186	4.06	107487	3.77	105557
13-24	6.20	69976	6.15	69855	6.15	69869	6.14	69837	6.21	70004
25-36	7.11	39211	7.30	39424	7.14	39235	7.17	39268	7.11	39208
37-48	7.49	15827	8.05	16060	7.66	15898	7.77	15943	7.46	15809
49-60	8.68	8458	8.89	8496	8.76	8473	8.81	8481	8.66	8452
61-72	9.51	3018	9.67	3026	9.59	3022	9.63	3024	9.48	3015

尻長										
月齢期間	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC
0-12	3.74	105416	5.01	112817	3.86	106186	4.06	107487	3.77	105557
13-24	5.93	69012	5.91	68938	5.93	68995	5.92	68974	5.95	69058
25-36	6.57	38576	6.69	38724	6.58	38587	6.60	38615	6.55	38549
37-48	7.41	15792	7.58	15865	7.44	15800	7.48	15819	7.35	15761
49-60	8.33	8404	8.39	8414	8.35	8405	8.36	8408	8.30	8395
61-72	9.10	2992	9.13	2992	9.11	2991	9.12	2991	9.08	2989

胸囲										
月齢期間	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC	MSE	AIC
0-12	42.09	174845	48.78	178762	42.52	175111	43.50	175718	42.33	174995
13-24	70.74	109998	68.33	109459	71.50	110162	70.96	110043	71.46	110153
25-36	83.41	63157	85.14	63334	84.13	63230	84.67	63285	82.97	63110
37-48	97.37	27829	100.28	27937	98.50	27870	99.31	27901	96.34	27787
49-60	113.40	15375	114.53	15393	113.87	15381	114.18	15387	112.86	15363
61-72	126.94	6109	127.51	6111	127.20	6109	127.36	6110	126.58	6105

第6章 成長曲線のパラメータから判断される成長過程の経時的変化

1. はじめに

近年におけるホルスタインは泌乳能力の改良とともに大型化の傾向が認められるとされるが、一方で体のサイズが大きいほど健康管理に費用がかかることが報告されている(Mahoney ら 1986, Becker ら 2012)。また、長命性と体の大きさとの間には、負の遺伝相関が存在するとの報告がある(藤田ら 2005, 萩谷ら 2011)。第4章の分析で示したように、体のサイズの大型化は淘汰リスクを高める可能性があり、それによる生産寿命の短縮化が懸念される。しかし、わが国のホルスタイン集団において、海外の集団と同様に体のサイズに関する各部位がどのような過程で、またどの程度の速度で大型化しているかを示した分析等はあまり報告の事例がない。

第5章ではホルスタインの雌牛から得られた測尺データを使用し、体重、体高、腰角幅、尻長および胸囲における成長曲線を検討した。これらの基礎分析に基づき、本研究では誕生日ごとに成長曲線のパラメータを推定し、各測尺部位における毎年の成長過程の経時的変化を調査した。

2. 材料および方法

(1) データ

分析に使用したデータは、第5章と同様の編集を行った。次に、このデータを2003年から2015年の各誕生日別に分け、13のデータセットとした。2003年から2015年までの各誕生日において、体重と体高の分析に使用した雌牛頭数は47頭から347頭の範囲、腰角幅と尻長では110頭から340頭の範囲、胸囲では117頭から353頭の範囲にあった。これら各測尺形質の誕生日ごとの雌牛頭数および記録数の詳細については、第5章の表5-3に示した。

(2) 分析方法

分析では、体重、体高、腰角幅、尻長および胸囲の5形質に関してそれぞれ5種類の非線形モデル、すなわちBrody(BM)、Logistic(LM)、Von Bertalanffy(VM)、Gompertz(GM)およびRichards(RM)を使用し、生年別の集団ごとに成長曲線のパラメータを推定した。本分析において推定された成長曲線のパラメータは、成熟値(A)、積分定数(B)および成長速度(k)、さらにRMにおける曲線の形状を示すパラメータ(m)である。なお、2014年生まれの雌牛は測尺記録が54ヵ月齢、2015年生まれの雌牛の記録は40ヵ月齢に制限されているため、Richardsモデルでは体重(2014年と2015年生まれ)および腰角幅と尻長(2015年生まれ)

において、曲線の形状を規定するパラメータ m が過大推定された。このことは、成熟値への到達月齢が遅く、成熟月齢近くまで記録が得られない場合は、正しい成長様相を捉えることが困難になる可能性を示唆している。それゆえ、本分析に使用した生年別の集団は、比較的成熟が遅い体重において 2003 年から 2013 年生まれ、腰角幅と尻長は 2003 年から 2014 年生まれ、さらに成熟月齢が比較的早い体高と胸囲は 2003 年から 2015 年生まれまでとした。

成長過程の変化は、誕生日に対する各パラメータの一次回帰係数(傾き)を利用して示した。分析には SAS の reg プロシジャ(version 9.4, SAS institute Inc)を使用した。

3. 結果および考察

(1) 誕生日ごとの各成長曲線のパラメータの推定

表 6-1 と表 6-2 には、各モデルから推定された誕生日ごとの成長曲線のパラメータを示した。パラメータ A は腰角幅を除くすべての形質において誕生日に伴い上昇傾向が認められた。腰角幅の A は誕生日に対し、一定の傾向が見られなかった。 B および k は、すべての形質において誕生日に対し方向性のある変化が認められなかった。

RM のパラメータ m は、体重において 1.24(2003 年)から 3.31(2013 年)、体高において 0.56(2003 年)から 1.40(2009 年)、腰角幅において 0.97(2008 年)から 1.66(2003 年)、尻長において 1.16(2013 年)から 3.68(2004 年)および胸囲において 1.00(2003 年)から 2.08(2011 年)の範囲にあった。誕生日別にデータ数を少なくして分析すると、RM における m の推定値は BM の 1 から VM の 3 の範囲を外れる集団があった。過去には、RM のパラメータを推定するため、 m に $0 \leq m \leq 6$ の制限を加えた報告が認められることから(向井ら 1980, 寺脇ら 1996)、 m は妥当な範囲で推定されたものと推察された。

(2) 誕生日に対する各パラメータの年あたりの変化量

表 6-3 には、誕生日に対する各成長曲線のパラメータの一次回帰係数(傾き)を示した。 A は体重において 5.43 kg/年(RM)から 8.63 kg/年(BM)の範囲、さらに体高において 0.26 cm/年(RM)から 0.31 cm/年(BM)の範囲で有意(1%)な傾きが推定された。尻長の A は BM の推定値以外 0.10 cm/年から 0.12 cm/年(RM)の範囲で 5%水準の有意な傾きが得られた。胸囲の A に関する傾きは 0.22 cm/年(RM)から 0.31 cm/年(BM)の範囲で 5%から 1%水準の有意性を示した。腰角幅のすべてのモデルにおいて有意な傾きは推定されなかった。 A に関する傾きは体重、体高および胸囲において RM で最も低く、尻長において最も高かった。

表6-1. 各モデル式から推定された誕生日ごとの成長曲線のパラメータ(体重、体高および腰角幅)

体重																
誕生日	Brody			Logistic			Von Bertalanffy			Gompertz			Richrds			
	A	B	k	A	B	k	A	B	k	A	B	k	A	B	k	m
2003	769.2	1.01	0.05	696.0	5.68	0.14	727.6	0.58	0.08	716.4	2.31	0.10	752.4	0.96	0.06	1.24
2004	769.5	1.02	0.06	701.9	6.17	0.15	731.4	0.60	0.09	721.1	2.40	0.10	749.3	0.93	0.07	1.38
2005	732.9	1.02	0.06	670.5	6.43	0.16	697.0	0.61	0.09	687.6	2.46	0.11	706.4	0.85	0.08	1.73
2006	772.9	1.00	0.06	698.6	6.48	0.16	729.4	0.60	0.09	718.4	2.44	0.11	740.3	0.84	0.08	1.74
2007	810.0	1.01	0.05	726.7	6.64	0.15	760.2	0.60	0.08	748.1	2.46	0.10	770.3	0.81	0.08	1.86
2008	799.9	1.00	0.05	725.2	6.40	0.15	755.7	0.60	0.09	744.7	2.42	0.10	762.8	0.77	0.08	2.01
2009	820.4	1.01	0.05	735.6	6.88	0.15	769.5	0.61	0.09	757.2	2.50	0.10	774.1	0.72	0.08	2.32
2010	789.9	1.01	0.06	721.6	6.30	0.15	750.3	0.60	0.09	740.2	2.41	0.10	761.4	0.85	0.08	1.67
2011	822.3	1.01	0.06	743.9	6.65	0.15	776.4	0.61	0.09	764.8	2.47	0.10	783.9	0.78	0.08	2.00
2012	825.2	1.01	0.06	748.0	6.91	0.15	779.1	0.62	0.09	767.9	2.52	0.10	781.7	0.69	0.09	2.51
2013	852.0	1.00	0.05	755.2	7.07	0.16	791.7	0.61	0.09	778.0	2.53	0.10	790.2	0.57	0.09	3.31

体高																
誕生日	Brody			Logistic			Von Bertalanffy			Gompertz			Richrds			
	A	B	k	A	B	k	A	B	k	A	B	k	A	B	k	m
2003	149.0	0.50	0.10	146.9	0.86	0.14	148.2	0.20	0.11	147.8	0.65	0.12	150.2	0.73	0.08	0.56
2004	150.0	0.50	0.10	148.0	0.87	0.14	149.3	0.20	0.11	148.9	0.66	0.12	150.4	0.59	0.09	0.79
2005	150.1	0.51	0.10	147.7	0.89	0.14	149.2	0.20	0.11	148.8	0.67	0.12	149.8	0.44	0.10	1.19
2006	152.8	0.50	0.09	150.4	0.90	0.13	151.8	0.20	0.11	151.4	0.66	0.11	153.0	0.54	0.09	0.89
2007	153.2	0.50	0.09	151.2	0.91	0.14	152.4	0.20	0.11	152.1	0.67	0.12	153.0	0.46	0.10	1.12
2008	152.9	0.50	0.10	151.1	0.89	0.14	152.2	0.20	0.11	151.9	0.66	0.12	152.6	0.40	0.10	1.34
2009	152.8	0.50	0.10	150.9	0.89	0.14	152.1	0.20	0.11	151.7	0.66	0.12	152.5	0.38	0.10	1.40
2010	151.4	0.50	0.10	149.7	0.89	0.15	150.7	0.20	0.12	150.4	0.66	0.13	151.2	0.45	0.11	1.16
2011	152.1	0.50	0.10	150.5	0.89	0.14	151.5	0.20	0.11	151.2	0.66	0.12	152.1	0.49	0.10	1.01
2012	153.1	0.50	0.10	151.2	0.90	0.14	152.3	0.20	0.11	152.0	0.66	0.12	153.1	0.51	0.10	0.97
2013	153.3	0.49	0.10	151.4	0.88	0.14	152.5	0.20	0.12	152.2	0.65	0.12	153.4	0.50	0.10	0.98
2014	153.0	0.49	0.11	150.9	0.87	0.15	152.2	0.20	0.12	151.8	0.65	0.13	153.3	0.55	0.10	0.86
2015	154.1	0.49	0.10	151.3	0.87	0.15	152.9	0.20	0.12	152.5	0.65	0.13	153.9	0.46	0.10	1.10

腰角幅																
誕生日	Brody			Logistic			Von Bertalanffy			Gompertz			Richrds			
	A	B	k	A	B	k	A	B	k	A	B	k	A	B	k	m
2003	60.5	0.73	0.07	58.0	2.10	0.14	59.3	0.34	0.09	58.9	1.21	0.11	59.8	0.54	0.09	1.66
2004	60.1	0.73	0.07	57.7	2.03	0.14	59.0	0.34	0.09	58.6	1.19	0.11	59.7	0.65	0.08	1.24
2005	60.8	0.74	0.07	57.9	2.04	0.13	59.4	0.34	0.09	58.9	1.20	0.10	60.6	0.71	0.07	1.06
2006	61.4	0.74	0.07	58.3	2.06	0.14	59.9	0.34	0.09	59.4	1.21	0.10	61.1	0.69	0.07	1.12
2007	62.0	0.74	0.07	59.0	2.09	0.13	60.6	0.34	0.09	60.1	1.22	0.10	62.1	0.75	0.07	0.98
2008	61.3	0.73	0.07	58.8	2.03	0.13	60.1	0.34	0.09	59.7	1.19	0.10	61.3	0.75	0.07	0.97
2009	61.0	0.74	0.07	58.4	2.08	0.14	59.8	0.34	0.09	59.3	1.21	0.10	60.6	0.66	0.08	1.23
2010	60.3	0.73	0.07	58.1	1.96	0.13	59.3	0.33	0.09	58.9	1.18	0.10	60.2	0.70	0.08	1.07
2011	60.6	0.74	0.07	58.1	2.10	0.14	59.4	0.34	0.10	59.0	1.22	0.11	60.0	0.59	0.08	1.45
2012	60.4	0.73	0.07	57.7	2.03	0.14	59.1	0.34	0.10	58.7	1.19	0.11	60.4	0.73	0.07	1.01
2013	61.3	0.73	0.07	58.1	2.05	0.13	59.7	0.34	0.09	59.2	1.20	0.10	61.2	0.72	0.07	1.03
2014	60.8	0.73	0.07	57.5	2.05	0.14	59.2	0.34	0.09	58.6	1.20	0.11	60.3	0.65	0.08	1.24

表6-2. 各モデル式から推定された誕生日ごとの成長曲線のパラメータ(尻長および胸囲)

誕生日	尻長															
	Brody			Logistic			Von Bertalanffy			Gompertz			Richrds			
	A	B	k	A	B	k	A	B	k	A	B	k	A	B	k	m
2003	59.6	0.61	0.08	58.1	1.37	0.14	58.9	0.26	0.10	58.7	0.90	0.11	59.0	0.30	0.10	2.62
2004	59.1	0.62	0.09	57.7	1.38	0.14	58.5	0.27	0.10	58.3	0.91	0.11	58.5	0.22	0.11	3.68
2005	59.7	0.63	0.08	58.1	1.39	0.14	59.0	0.27	0.10	58.8	0.92	0.11	59.3	0.43	0.09	1.72
2006	60.5	0.63	0.08	58.7	1.40	0.14	59.7	0.27	0.10	59.4	0.92	0.11	59.9	0.38	0.10	1.99
2007	61.1	0.63	0.08	59.4	1.44	0.14	60.3	0.27	0.10	60.0	0.94	0.11	60.7	0.49	0.09	1.46
2008	61.0	0.63	0.09	59.5	1.40	0.14	60.3	0.27	0.10	60.1	0.92	0.11	60.7	0.53	0.09	1.28
2009	60.6	0.62	0.09	59.1	1.40	0.14	60.0	0.27	0.10	59.7	0.92	0.11	60.2	0.42	0.10	1.74
2010	59.9	0.62	0.09	58.8	1.33	0.14	59.4	0.26	0.11	59.2	0.89	0.12	59.6	0.39	0.10	1.85
2011	60.0	0.63	0.09	58.6	1.35	0.14	59.6	0.27	0.11	59.2	0.89	0.12	59.5	0.40	0.10	1.80
2012	60.0	0.62	0.09	58.6	1.38	0.15	59.4	0.27	0.11	59.2	0.91	0.12	59.7	0.46	0.10	1.52
2013	60.8	0.61	0.08	59.2	1.35	0.14	60.1	0.26	0.10	59.8	0.90	0.11	60.7	0.56	0.09	1.16
2014	61.2	0.62	0.09	59.4	1.38	0.14	60.4	0.27	0.10	60.1	0.91	0.11	60.7	0.44	0.10	1.63

誕生日	胸囲															
	Brody			Logistic			Von Bertalanffy			Gompertz			Richrds			
	A	B	k	A	B	k	A	B	k	A	B	k	A	B	k	m
2003	215.4	0.63	0.08	209.6	1.42	0.14	212.9	0.27	0.10	211.9	0.93	0.11	215.4	0.63	0.08	1.00
2004	215.0	0.64	0.09	210.0	1.46	0.15	212.8	0.28	0.11	211.9	0.95	0.12	213.7	0.46	0.10	1.60
2005	215.2	0.64	0.09	209.4	1.44	0.14	212.7	0.28	0.10	211.7	0.94	0.11	213.9	0.50	0.09	1.45
2006	217.6	0.64	0.09	211.7	1.45	0.15	215.0	0.28	0.11	214.0	0.95	0.12	215.8	0.43	0.10	1.74
2007	217.6	0.64	0.09	212.7	1.47	0.14	215.5	0.28	0.10	214.6	0.95	0.11	216.5	0.49	0.10	1.47
2008	217.6	0.63	0.09	212.7	1.43	0.14	215.5	0.27	0.11	214.6	0.94	0.11	216.8	0.53	0.09	1.30
2009	218.4	0.63	0.09	213.1	1.45	0.14	216.1	0.27	0.10	215.1	0.94	0.11	217.0	0.46	0.10	1.57
2010	216.0	0.63	0.09	211.6	1.37	0.14	214.1	0.27	0.11	213.4	0.91	0.12	215.6	0.57	0.09	1.16
2011	217.0	0.64	0.09	212.7	1.45	0.15	215.1	0.28	0.11	214.4	0.95	0.12	215.5	0.38	0.11	2.08
2012	218.2	0.64	0.09	213.3	1.47	0.15	216.1	0.28	0.11	215.2	0.95	0.12	217.0	0.48	0.10	1.54
2013	218.3	0.63	0.09	212.9	1.45	0.15	215.9	0.27	0.11	215.0	0.94	0.12	216.7	0.43	0.10	1.75
2014	218.3	0.63	0.09	212.3	1.43	0.15	215.6	0.27	0.11	214.6	0.94	0.12	217.0	0.50	0.10	1.40
2015	220.3	0.63	0.08	211.7	1.41	0.14	216.3	0.27	0.10	214.9	0.93	0.11	217.4	0.41	0.10	1.85

体重におけるパラメータ B の傾きは BM 以外のモデルで有意に推定されたが、その推定範囲は-2.84(RM)から 9.50(LM)と負から正の値に及んだ。その他の形質として体高の B は BM おいて 1%水準(-0.10)、尻長の RM において 5%水準(0.02)の有意な傾きが推定された。 k の傾きは体高において BM 以外のモデルから 5%水準で有意に推定(0.08 から 0.82)されたが、その他の形質では有意な傾きは得られなかった。RM のパラメータ m の傾きは体重において 1%水準の有意な推定値(14.6)、尻長において 5%水準の負の傾き(-1.20)が推定された。

以上から、体重、体高、尻長および胸囲の成熟値(A)は、有意に上昇していることが明らかになった。しかし、成長速度(k)は体高において有意な上昇がわずかに観測されたが、その他の形質ではほとんど経時的変化が認められなかった。また、曲線の形状(m)は体重で正方向、尻長で負方向の変化が認められた。一方、腰角幅はすべてのパラメータにおいて有意な経時的変化を認めることができなかった。

表6-3. 誕生年に対する各パラメータの年当たりの一次回帰係数(傾き)

形質	モデル	A		$B \times 10^{-2}$		$k \times 10^{-2}$		$m \times 10^{-2}$	
		回帰係数	SE	回帰係数	SE	回帰係数	SE	回帰係数	SE
体重	Brody	8.63 **	1.82	-0.09	0.06	-0.03	0.02		
	Logistic	6.87 **	1.24	9.50 *	2.29	0.06	0.05		
	Von Bertalanffy	7.28 **	1.43	0.24 *	0.07	0.01	0.03		
	Gompertz	7.09 **	1.36	1.50 **	0.39	0.01	0.03		
	Richards	5.43 **	1.57	-2.84 **	0.54	0.17	0.04	14.6 **	0.31
体高	Brody	0.31 **	0.08	-0.10 **	0.03	0.07	0.04		
	Logistic	0.30 **	0.08	-0.01	0.11	0.82 *	0.35		
	Von Bertalanffy	0.30 **	0.07	0.00	0.00	0.09 *	0.03		
	Gompertz	0.30 **	0.08	-0.08	0.05	0.08 *	0.04		
	Richards	0.26 **	0.07	-0.86	0.65	0.12 *	0.04	1.42	0.17
腰角幅	Brody	0.02	0.04	-0.03	0.04	0.00	0.00		
	Logistic	-0.02	0.03	-0.16	0.34	-0.01	0.04		
	Von Bertalanffy	0.00	0.03	-0.01	0.03	0.04	0.03		
	Gompertz	-0.01	0.03	-0.03	0.11	0.01	0.05		
	Richards	0.04	0.05	0.53	0.53	-0.05	0.06	-1.89	0.18
尻長	Brody	0.10	0.05	-0.03	0.07	0.06	0.04		
	Logistic	0.10 *	0.04	-0.18	0.24	0.04	0.03		
	Von Bertalanffy	0.10 *	0.04	0.00	0.04	0.05	0.04		
	Gompertz	0.10 *	0.04	-0.05	0.12	0.05	0.04		
	Richards	0.12 *	0.05	0.02 *	0.01	0.00	0.00	-1.20 *	0.05
胸囲	Brody	0.31 **	0.07	-0.05	0.04	0.00	0.03		
	Logistic	0.23 *	0.08	-0.12	0.21	0.03	0.04		
	Von Bertalanffy	0.27 **	0.06	-0.05	0.04	0.03	0.04		
	Gompertz	0.26 **	0.06	-0.04	0.09	0.04	0.04		
	Richards	0.22 **	0.06	-0.79	0.47	0.10	0.05	3.18	0.20

A : 成熟値、b : 積分定数、k : 成長速度、m : 曲線の形状

** : $P < 0.01$ 、* : $P < 0.05$

(3) 誕生年に対する月齢ごとの推定値における年あたりの変化量

表 6-4 には、誕生年に対する月齢別推定値の一次回帰係数(傾き)を示した。傾きは、12 カ月齢から 72 カ月齢まで 12 カ月ごとに推定した。体重の傾きは 12 カ月において年あたり 1.95 kg(LM と RM)から 2.85 kg(BM)、24 カ月齢において 4.82 kg/年(BM)から 5.89 kg/年(RM)、36 カ月齢において 6.25 kg/年(BM)から 6.88 kg/年(RM)、48 カ月齢において 6.59 kg/年(RM)から 7.20 kg/年(BM)、60 カ月齢において 6.14 kg/年(RM)から 7.79 kg/年(BM)および 72 カ月齢において 5.82 kg/年(RM)から 8.14 kg/年(BM)の範囲で、すべての月齢において 1%水準の有意な増加傾向が観測された。

体高の傾きは 12 カ月齢において 0.47 cm/年(BM)から 0.50 cm/年(LM)、24 カ月齢において 0.40 cm/年(LM と VM)から 0.42 cm/年(RM)、36 カ月齢において 0.33 cm/年(LM)から 0.35 cm/年(BM と RM)、48 カ月齢において 0.30 cm/年(RM)

から 0.33 cm/年(BM)、60 カ月齢において 0.28 cm/年(RM)から 0.31 cm/年(BM と LM)および 72 カ月齢において 0.27 cm/年(RM)から 0.31 cm/年(BM)の範囲で、誕生年に対し 1%水準の有意な上昇が認められた。

尻長の傾きは 12 カ月齢において 0.15 cm/年、24 カ月齢において 0.13 cm/年(LM と RM)から 0.15 cm/年(BM)、36 カ月齢において 0.11 cm/年(LM)から 0.13 cm/年(BM)、48 カ月齢において 0.11 cm/年(LM と GM)から 0.12 cm/年(BM、VM および RM)、60 カ月齢において 0.11 cm/年(LM、VM および GM)から 0.13 cm/年(RM)および 72 カ月齢において 0.11 cm/年(LM、VM および GM)から 0.13 cm/年(RM)の範囲にあり、育成期は 1%水準、経産になると 5%水準の有意な上昇傾向を示した。

胸囲の傾きは 12 カ月齢において 0.34 cm/年(BM)から 0.39 cm/年(LM)、24 カ月齢において 0.32 cm/年(LM)から 0.39 cm/年(RM)、36 カ月齢において 0.25 cm/年(LM)から 0.33 cm/年(BM)、48 カ月齢において 0.24 cm/年(LM)から 0.32 cm/年(BM)、60 カ月齢において 0.23 cm/年(LM)から 0.32 cm/年(BM)および 72 カ月齢において 0.23 cm/年(LM と RM)から 0.32 cm/年(BM)の範囲にあり、すべて 1%水準の有意な増加が認められた。一方、腰角幅の傾きは、誕生年に対する成長曲線のパラメータが有意な変化を示さなかったと同様に(表 6-3)、各月齢の推定値も誕生年に対して有意性を示さなかった。

誕生年に対する増体量は加齢とともに増加する傾向が示された。特に 24 カ月齢時の年当たり増体量は、12 カ月齢のそれと比較して 2 倍前後を示した。一方、体高と胸囲は、加齢にともない年当たりの上昇が低下する傾向が示され、育成期から初産頃の年当たり上昇が顕著に認められた。

4. 結論

腰角幅を除き、体重、体高、尻長および胸囲の成熟値(A)は誕生年に対して有意な上昇を示したが、積分定数(B)、成長速度(k)、および曲線の形状(m)における変化は小さかった。誕生年に対する体重の変化は加齢と伴に増大した。一方、体高と胸囲は誕生年に対して育成期の上昇が顕著であった。腰角幅は誕生年に対しほとんど変化がないことから、ホルスタインは体重、体高、尻長および胸囲で大型化を示唆できるが、腰角幅は大型化していない可能性が推測された。

表6-4. 誕生年に対する月齢別推定値の一次回帰係数(傾き)

形質	モデル	12ヶ月齢		24ヶ月齢		36ヶ月齢		48ヶ月齢		60ヶ月齢		72ヶ月齢	
		回帰係数	SE	回帰係数	SE	回帰係数	SE	回帰係数	SE	回帰係数	SE	回帰係数	SE
体重	Brody	2.85 **	0.30	4.82 **	0.45	6.25 **	0.82	7.20 **	1.16	7.79 **	1.41	8.14 **	1.57
	Logistic	1.95 **	0.36	5.88 **	0.51	6.86 **	0.99	6.90 **	1.19	6.88 **	1.23	6.87 **	1.24
	Von Bertalanffy	2.53 **	0.31	5.35 **	0.46	6.61 **	0.88	7.06 **	1.17	7.21 **	1.32	7.26 **	1.38
	Gompertz	2.36 **	0.33	5.51 **	0.47	6.70 **	0.91	7.01 **	1.18	7.08 **	1.29	7.09 **	1.34
	Richards	1.95 **	0.36	5.89 **	0.48	6.88 **	0.87	6.59 **	1.17	6.14 **	1.35	5.82 **	1.46
体高	Brody	0.47 **	0.04	0.41 **	0.05	0.35 **	0.06	0.33 **	0.07	0.31 **	0.07	0.31 **	0.08
	Logistic	0.50 **	0.04	0.40 **	0.06	0.33 **	0.07	0.31 **	0.08	0.31 **	0.08	0.30 **	0.08
	Von Bertalanffy	0.48 **	0.04	0.40 **	0.05	0.34 **	0.06	0.31 **	0.07	0.30 **	0.07	0.30 **	0.07
	Gompertz	0.49 **	0.04	0.41 **	0.05	0.34 **	0.07	0.31 **	0.07	0.30 **	0.07	0.30 **	0.08
	Richards	0.48 **	0.04	0.42 **	0.05	0.35 **	0.06	0.30 **	0.06	0.28 **	0.07	0.27 **	0.07
腰角幅	Brody	-0.01	0.03	-0.01	0.02	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.05
	Logistic	-0.02	0.03	-0.03	0.03	-0.03	0.03	-0.03	0.04	-0.03	0.04	-0.03	0.04
	Von Bertalanffy	-0.01	0.03	-0.02	0.02	-0.02	0.03	-0.02	0.04	-0.02	0.04	-0.01	0.04
	Gompertz	-0.01	0.03	-0.02	0.02	-0.02	0.03	-0.02	0.04	-0.02	0.04	-0.02	0.04
	Richards	-0.01	0.02	-0.02	0.02	-0.01	0.03	0.00	0.04	0.01	0.05	0.01	0.06
尻長	Brody	0.15 **	0.02	0.15 **	0.03	0.13 **	0.04	0.12 *	0.04	0.12 *	0.05	0.12 *	0.05
	Logistic	0.15 **	0.03	0.13 **	0.03	0.11 *	0.04	0.11 *	0.04	0.11 *	0.04	0.11 *	0.04
	Von Bertalanffy	0.15 **	0.02	0.14 **	0.03	0.12 **	0.04	0.12 *	0.04	0.11 *	0.04	0.11 *	0.04
	Gompertz	0.15 **	0.02	0.14 **	0.03	0.12 **	0.04	0.11 *	0.04	0.11 *	0.04	0.11 *	0.04
	Richards	0.15 **	0.02	0.13 **	0.02	0.12 **	0.04	0.12 *	0.04	0.13 *	0.05	0.13 *	0.05
胸囲	Brody	0.34 **	0.10	0.35 **	0.08	0.33 **	0.06	0.32 **	0.06	0.32 **	0.07	0.32 **	0.07
	Logistic	0.39 **	0.10	0.32 **	0.09	0.25 **	0.08	0.24 *	0.08	0.23 *	0.08	0.23 *	0.08
	Von Bertalanffy	0.38 **	0.10	0.35 **	0.08	0.30 **	0.07	0.28 **	0.06	0.27 **	0.06	0.27 **	0.06
	Gompertz	0.38 **	0.10	0.35 **	0.08	0.29 **	0.07	0.27 **	0.06	0.26 **	0.06	0.26 **	0.06
	Richards	0.38 **	0.10	0.39 **	0.08	0.32 **	0.06	0.27 **	0.06	0.24 **	0.06	0.23 **	0.06

**: $P < 0.01$ 、*: $P < 0.05$

5. 参考文献

- 1) Becker. J. C, Heins. B. J, Hansen. L. B. 2012. Costs for health care of Holstein cows selected for large versus small body size. Journal of Dairy Science, 95:5384-5392
- 2) Funk Devan C., Hansen.L.B, Funk Dennis A., 1991. Adjustment of linear type scores from Holstein classification for age and stage of lactation. Journal of Dairy Science, 74:645-650.
- 3) 萩谷功一, 大澤剛史, 増田豊, 鈴木三義, 山崎武志, 長嶺慶隆, 富樫研治. 2011. ホルスタイン種における在群期間と泌乳・体型形質間の遺伝相関の年代的な変化. 日畜会報. 83:9-19.
- 4) Hayes.A.E, Mao.I.L. 1987. Effects of parity, age, and stage of lactation at classification on linear type score of Holstein cattle. Journal of Animal Science,

70:1898-1905.

- 5) 藤田千賀子, 鈴木三義. 2006. 乳牛の在群期間の遺伝率ならびに産乳, 体型および繁殖形質との関連. 日畜会報. 77: 9-15.
- 6) Mahoney. C. B, Hansen. L. B, Young. C. W, Marx. G. D, Reneau. J. K. 1986. Healthcare of Holstein selected for large or small body size. Journal of Dairy Science, 69:3131-3139.
- 7) SAS Institute Inc. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Version 9.4. Cary, NC:SAS Institute, Inc.
- 8) 師守埜, 平方健, 鈴木三義, 三好俊三, 光本孝次. 1984. 非線形成長曲線モデルを用いたホルスタイン雌牛の成長に関する研究. 帯大研報. 14: 163-173.

第7章 ホルスタイン雌牛に関する標準発育値の設定

1. はじめに

第5章では一般の酪農家および国・都道府県の畜産試験研究機関で飼養されているホルスタイン雌牛の体型測尺部位のデータを用いて、各種の成長曲線モデルの適合性に関して調査を行った。その結果、最も適合性の高いモデルはRichards モデル(RM)であったが、月齢を幾つかに分け決定係数と残差平方和を使用して適合性を調査したところ、最も適合性の高い成長曲線は月齢の範囲によって差異があることが判明した。次に第6章では、5種類の成長曲線から誕生日ごとにパラメータを推定し、成長過程の変化について調査を行った。ホルスタインの体のサイズは、腰角幅を除き体重、体高、尻長および胸囲において年々大型化している傾向が示された。特に、体重は育成後期において増体が目立ち、その後も増体する傾向が認められた。このように近年におけるホルスタインは泌乳能力の改良とともに大型化する傾向が認められるようになったが、体が大きいほど健康管理に費用がかかるとの研究報告がある(Mahoney ら 1986, Becker ら 2012)。また、体の大きさと長命性との間には負の遺伝相関が存在することが報告(藤田ら 2005, 萩谷ら 2011)されており、本研究事業でも同様の分析結果が得られている。さらに第4章では、初産時において高さの線形スコアが 5(142 cm)以上になると淘汰の危険性(リスク比)が上昇を示すことが判明した(第4章の図 4-2 参照)。

そこで、本研究では第5章および第6章の結果を踏まえ、さらに第4章で明らかになった体のサイズと淘汰のリスク比との関係から生産寿命の延長が期待できる標準発育値を設定することを目的に、発育様相の異なるデータセットを用いて適合性の高い成長曲線を推定し、各集団の発育様相を比較した。

2. 材料および方法

(1) データセットの編集

本分析では、成長曲線の推定に当たり第5章と同様に編集したデータを使用した。表 7-1 には、2003 年から 2015 年生まれまでの 23 カ月齢から 26 カ月齢における体高の平均値を示した。23 カ月齢から 26 カ月齢までの生年別の平均値は 2003 年から 2015 年までに、それぞれ 140.6cm、142.5cm、142.3cm、144.6cm、145.9cm、146.4cm、146.0cm、145.5cm、146.2cm、146.6cm、146.6cm、147.5cm および 147.9cm と上昇傾向を示した。ホルスタインの多くはおおよそ 23 から 26 カ月齢の範囲で初産分娩し、最頻値は約 24 カ月齢である(日本家畜人工授精師協会 2018)。一方、第4章の分析結果から、線形形質の高さにおいて 142

表7-1. 2003年から2015年生まれの各生年における23、24、25および26カ月齢の体高の平均値

生年	測尺月齢				平均
	23	24	25	26	
2003	139.9	141.3	140.5	140.2	140.5
2004	142.1	142.7	143.4	143.8	143.0
2005	140.5	142.5	142.4	145.8	142.8
2006	142.8	144.7	144.8	146.1	144.6
2007	143.7	146.1	146.1	146.1	145.5
2008	140.7	147.3	146.0	145.2	144.8
2009	140.6	147.3	145.2	145.9	144.7
2010	141.9	145.6	146.7	145.9	145.0
2011	144.4	146.7	145.4	146.5	145.8
2012	143.3	146.8	147.3	145.2	145.7
2013	144.6	147.1	146.2	144.3	145.6
2014	145.8	147.9	147.4	146.9	147.0
2015	146.0	148.3	148.1	148.4	147.7

表7-2. 各データセットに含まれる雌牛の生年の範囲と体重、体高、腰角幅、尻長および胸囲における初産期間中の平均値

データセット	生年	体重	体高	腰角幅	尻長	胸囲
A	2003-05年	599.2	142.1	53.3	55.3	201.7
B	2006-07年	616.0	145.2	53.6	55.9	203.2
C	2013-15年	668.7	147.2	53.5	56.8	205.4

cmに相当するスコア 5 を超えると淘汰のリスク比が上昇することが判明している。そこで、本分析では、初産分娩時の体高が平均で約 142 cmになる集団として 2003 年から 2005 年生まれの集団を抽出し、これをデータセット A とした。データセット A は、生産寿命の延長が期待するうえで最適な体のサイズを有する集団として定義した。

一方、現在の雌牛集団は、さらに大型化し線形形質の高さにおいて初産時の平均スコアがすでに 7(148 cm)を超えている状況にある。そのため、酪農現場では現状の体のサイズに基づく標準発育値も求められる可能性があることから、本分析では初産時の体高が線形形質の高さのスコア 6 と 7 におおよそ相当するデータセットを作成した。表 7-2 には、各データセットにおける生年の範囲と体重、体高、腰角幅、尻長および胸囲の初産乳期中の平均値を示した。データセット B は初産時の体高が平均約 145 cm、データセット C は同様に平均約 147 cmに相当する集団である。

表7-3. 各データセットにおける測尺形質の雌牛数および記録数

誕生日	体重		体高		腰角幅		尻長		胸囲	
	雌牛	記録数	雌牛	記録数	雌牛	記録数	雌牛	記録数	雌牛	記録数
データセットA(2003-2005年生まれの範囲)										
2003	47	1,947	49	1,315	148	1,943	148	1,946	148	2,246
2004	160	7,641	168	4,825	286	3,832	283	3,812	281	4,097
2005	171	7,559	174	4,304	311	4,156	311	4,139	311	4,492
合計	378	17,147	391	10,444	745	9,931	742	9,897	740	10,835
データセットB(2006-2007年生まれの範囲)										
2006	320	10,523	333	6,412	334	4,648	334	4,646	335	4,588
2007	332	10,918	340	6,398	330	5,023	328	4,985	324	5,152
合計	652	21,441	673	12,810	664	9,671	662	9,631	659	9,740
データセットC(2013-2015年生まれの範囲)										
2013	305	10,308	313	5,662	297	4,479	297	4,484	307	4,748
2014	261	8,607	265	4,999	254	3,917	254	3,924	263	4,171
2015	109	2,753	117	2,073	110	1,641	110	1,642	117	1,784
合計	675	21,668	695	12,734	661	10,037	661	10,050	687	10,703

表7-4. 各データセットに含まれる雌牛の個体数、成長曲線モデル別の収束個体数(解が得られた個体数)と収束した個体の割合(%)

誕生日	個体数	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		収束数	割合	収束数	割合	収束数	割合	収束数	割合	収束数	割合
データセットA(2003-2005年生まれの範囲)											
体重	378	378	100	378	100	378	100	378	100	191	51
体高	391	391	100	391	100	391	100	391	100	280	72
腰角幅	745	745	100	745	100	745	100	745	100	492	66
尻長	742	742	100	742	100	742	100	742	100	362	49
胸囲	740	740	100	740	100	740	100	740	100	402	54
データセットB(2006-2007年生まれの範囲)											
体重	652	652	100	652	100	652	100	652	100	319	49
体高	673	673	100	673	100	673	100	673	100	442	66
腰角幅	664	664	100	664	100	664	100	664	100	498	75
尻長	662	662	100	662	100	662	100	662	100	379	57
胸囲	659	659	100	659	100	659	100	659	100	390	59
データセットC(2013-2015年生まれの範囲)											
体重	675	675	100	675	100	674	100	675	100	302	45
体高	695	695	100	695	100	695	100	695	100	488	70
腰角幅	661	661	100	661	100	661	100	661	100	461	70
尻長	661	661	100	661	100	661	100	661	100	403	61
胸囲	687	687	100	687	100	687	100	687	100	504	73

(2) 成長曲線の推定方法

本分析では、Brody(BM)、Logistic(LM)、Von Bertalanffy(VM)、Gompertz(GM) および Richards(RM)の 5 種類の統計モデルを使用し、個体ごとに成長曲線を推定した。表 7-3 には、各データセットにおける測尺形質の雌牛数および記録数を示した。分析に利用できた雌牛数と記録数は各形質により違いがあった。データセット A の体重および体高は雌牛数および記録数において 378 頭と 391 記録であり、データセット B および C と比較し少なかったが、その他の形質ではデータセット B および C 以上の雌牛数(740 から 745 頭)と記録数(9,897 から 10,835 記録)を確保することができた。なお、データセット C は、2013 年生まれにおいて 61 カ月齢、2014 年生まれにおいて 52 カ月齢および 2015 年生まれにおいて 40 カ月齢までの測尺記録しか分析に利用できなかった。

第 5 章の分析結果によれば、本分析で使用した 5 種類の成長曲線モデルは、いずれも全成長過程に渡り最適な当てはまりを示すものが認められなかった。そこで、決定係数(R^2)と平均平方誤差(MSE)を使用し、月齢ごとに最も適合性の高い成長曲線モデルを選択し、それらをつなぐことで成長曲線を描き、標準発育値を推定した。適合性の推定には SAS の glm プロシジャ(version 9.4, SAS institute Inc)を使用した。

表7-5(a). データセットAにおける各パラメータの平均値および標準偏差(SD)

形質	モデル	A		B		k		m	
		平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
体重	Brody	754.90	91.70	1.03	0.04	0.06	0.01		
	Logistic	673.26	64.65	6.68	1.33	0.16	0.03		
	Von Bertalanffy	704.41	70.09	0.61	0.05	0.10	0.02		
	Gompertz	692.66	67.42	2.50	0.27	0.11	0.02		
	Richards	720.40	80.35	0.78	0.18	0.08	0.02	2.24	1.16
体高	Brody	149.38	4.29	0.51	0.03	0.10	0.01		
	Logistic	146.93	4.13	0.88	0.07	0.14	0.02		
	Von Bertalanffy	148.40	4.20	0.20	0.01	0.11	0.01		
	Gompertz	147.97	4.17	0.66	0.04	0.12	0.01		
	Richards	150.13	4.67	0.60	0.23	0.09	0.02	1.09	0.95
腰角幅	Brody	60.85	3.43	0.74	0.03	0.07	0.01		
	Logistic	57.90	2.99	2.08	0.23	0.14	0.02		
	Von Bertalanffy	59.41	3.14	0.34	0.02	0.09	0.01		
	Gompertz	58.91	3.08	1.21	0.08	0.11	0.01		
	Richards	61.48	4.53	0.69	0.23	0.07	0.02	1.45	1.16
尻長	Brody	59.78	2.80	0.63	0.03	0.09	0.01		
	Logistic	58.12	2.48	1.40	0.15	0.14	0.02		
	Von Bertalanffy	59.04	2.63	0.27	0.02	0.10	0.01		
	Gompertz	58.76	2.57	0.92	0.07	0.11	0.02		
	Richards	60.14	2.98	0.65	0.23	0.08	0.02	1.28	1.09
胸囲	Brody	215.80	9.22	0.64	0.03	0.09	0.01		
	Logistic	209.99	8.44	1.45	0.14	0.15	0.02		
	Von Bertalanffy	213.21	8.77	0.28	0.02	0.11	0.01		
	Gompertz	212.22	8.64	0.95	0.06	0.12	0.02		
	Richards	218.84	11.92	0.66	0.23	0.08	0.02	1.26	1.05

表7-5(b). データセットBにおける各パラメータの平均値および標準偏差

形質	モデル	A		B		k		m	
		平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
体重	Brody	779.17	88.44	1.01	0.04	0.06	0.01		
	Logistic	688.38	75.58	7.37	1.37	0.17	0.03		
	Von Bertalanffy	725.97	83.05	0.62	0.05	0.10	0.02		
	Gompertz	711.59	80.04	2.58	0.24	0.11	0.02		
	Richards	765.36	97.02	0.77	0.18	0.08	0.02	2.23	1.20
体高	Brody	153.27	4.60	0.50	0.02	0.10	0.02		
	Logistic	150.67	4.29	0.91	0.07	0.14	0.03		
	Von Bertalanffy	152.19	4.44	0.20	0.01	0.11	0.02		
	Gompertz	151.74	4.39	0.67	0.04	0.12	0.02		
	Richards	154.01	5.16	0.54	0.21	0.09	0.02	1.25	1.05
腰角幅	Brody	61.66	4.30	0.74	0.03	0.07	0.01		
	Logistic	58.18	3.06	2.12	0.20	0.14	0.02		
	Von Bertalanffy	59.92	3.37	0.34	0.02	0.10	0.01		
	Gompertz	59.34	3.23	1.23	0.07	0.11	0.02		
	Richards	62.00	4.27	0.69	0.21	0.07	0.02	1.41	1.02
尻長	Brody	60.89	2.76	0.64	0.03	0.08	0.01		
	Logistic	58.91	2.41	1.45	0.13	0.14	0.02		
	Von Bertalanffy	59.99	2.56	0.27	0.02	0.10	0.02		
	Gompertz	59.66	2.50	0.94	0.06	0.11	0.02		
	Richards	61.62	3.23	0.62	0.21	0.08	0.02	1.30	0.96
胸囲	Brody	219.25	9.45	0.64	0.03	0.09	0.01		
	Logistic	212.58	8.23	1.48	0.14	0.15	0.02		
	Von Bertalanffy	216.23	8.77	0.28	0.02	0.11	0.02		
	Gompertz	215.09	8.57	0.96	0.06	0.12	0.02		
	Richards	223.11	12.67	0.67	0.21	0.08	0.02	1.17	0.96

表7-5(c). データセットCにおける各パラメータの平均値および標準偏差

形質	モデル	A		B		k		m	
		平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
体重	Brody	847.89	91.57	1.00	0.07	0.05	0.02		
	Logistic	728.11	72.24	7.70	1.28	0.17	0.03		
	Von Bertalanffy	779.12	85.56	0.62	0.04	0.09	0.02		
	Gompertz	758.20	78.95	2.61	0.24	0.11	0.02		
	Richards	827.25	98.89	0.75	0.16	0.07	0.02	2.26	1.10
体高	Brody	154.25	4.52	0.50	0.02	0.10	0.01		
	Logistic	151.73	4.12	0.89	0.06	0.15	0.01		
	Von Bertalanffy	153.21	4.32	0.20	0.01	0.12	0.01		
	Gompertz	152.77	4.26	0.66	0.04	0.13	0.01		
	Richards	155.33	4.95	0.59	0.20	0.09	0.02	1.01	0.83
腰角幅	Brody	61.64	3.57	0.74	0.03	0.07	0.01		
	Logistic	57.66	2.70	2.09	0.21	0.14	0.02		
	Von Bertalanffy	59.62	3.02	0.34	0.02	0.09	0.01		
	Gompertz	58.95	2.89	1.21	0.08	0.10	0.01		
	Richards	62.65	5.16	0.70	0.21	0.07	0.02	1.36	1.05
尻長	Brody	61.66	3.15	0.62	0.03	0.08	0.01		
	Logistic	59.52	2.62	1.38	0.13	0.14	0.02		
	Von Bertalanffy	60.68	2.87	0.27	0.02	0.10	0.01		
	Gompertz	60.31	2.78	0.91	0.06	0.11	0.01		
	Richards	62.85	3.93	0.67	0.22	0.08	0.02	1.14	0.96
胸囲	Brody	224.40	11.35	0.64	0.02	0.08	0.01		
	Logistic	216.31	9.24	1.48	0.11	0.15	0.02		
	Von Bertalanffy	220.65	10.22	0.28	0.01	0.10	0.01		
	Gompertz	219.28	9.87	0.96	0.05	0.11	0.01		
	Richards	230.02	17.59	0.67	0.21	0.08	0.02	1.20	1.06

3. 結果および考察

(1) 個体ごとの成長曲線モデルの推定

表 7-4 にはそれぞれデータセット A、B および C における雌牛数、各成長曲線モデルにより収束してパラメータ解が得られた雌牛数とその割合(%)を測尺形質ごとに示した。RM を除く 4 種類のモデルは、すべての形質およびすべての雌牛においてパラメータを推定することができた。

一方、RM は他のモデルが 3 種のパラメータ A 、 B および k を推定するのに対し、それに m を加え 4 種のパラメータを推定する必要があるため、パラメータスペース内ですべての解を安定的に収束させることが難しいとの報告がある(Brown ら 1976)。向井ら(1980)および 寺脇ら(1996)は、RM を使用してパラメータ解を得るため、パラメータ B および m にそれぞれ $B \leq 1$ および $0 \leq m \leq 6$ の制限を加えた。しかし、これら制限を加えて推定されたパラメータ解は $B=1$ および $m=6$ に固定され A と k の解が推定される。ただし、これらの制限を付加したことで、すべての個体のパラメータが推定できるわけではなく、収束解が得られた個体数はわずかに増えたに過ぎなかった。それゆえ、本研究では制限を設けずに推定した成長曲線のみをその後の分析に使用した。RM によりパラメータが推定できた雌牛数は、データセット A において体重が 191 頭、体高が 280 頭、腰角幅が 492 頭、尻長が 362 頭および胸囲が 402 頭であり、解が得られた雌牛の割合は尻長の 49%から体高の 72%の範囲に留まった。同様にデータセット B では体重において 319 頭(49%)、体高において 442 頭(66%)、腰角幅において 498 頭(75%)、尻長において 379 頭(57%)および胸囲において 390 頭(59%)、データセット C では体重において 302 頭(45%)、体高において 488 頭(70%)、腰角幅において 461 頭(70%)、尻長において 403 頭(61%)および胸囲において 504 頭(73%)であった。

表 7-5 の(a)から(c)にはデータセット A、B および C における各成長曲線のパラメータ A 、 B 、 k および m の平均値と標準偏差を示した。図 7-1 にはデータセット A の体重、体高、腰角幅、尻長および胸囲の成長曲線を示した。また、図 7-2 および図 7-3 にはそれぞれデータセット B と C における各形質の成長曲線を示した。個体ごとの成長曲線は集団で推定した第 5 章の結果とおおよそ同じような傾向で推定された。体重の成長曲線は、LM において出生時に過大推定されるが加齢とともに著しく過小推定される傾向があった。一方、BM は出生時に過小推定するが、成熟期に入ると過小推定する傾向が見られたが他の 4 種類のモデルと比較すれば適合性が高かった。

体高、腰角幅、尻長および胸囲の成長曲線はモデルにより出生時を除くと育成期である 24 ヶ月齢頃まで推定値に顕著な差異が認められなかったが、初産

分娩期を過ぎる頃からモデルにより適合性に差異が認められるようになった。特に、13-15年において36ヵ月齢以降の成長曲線は各モデルの推移の差異が大きい。これについては高い月齢において測尺記録が欠測していることが影響していると推察される。

(2) 各集団における最適な成長曲線の当てはめ

最適な発育過程を推定できるモデルには、適合性の高いモデルを採用することが最善である。表7-6の(a)から(c)には、データセットA、BおよびCにおいて、測尺時月齢で1年齢別に6区分した場合の成長曲線モデルの適合性評

表7-6(a). データセットAにおいて、測尺時月齢で1年齢別に区分した場合の成長曲線モデルの決定係数(R^2)と平均平方誤差(MSE)

形質	月齢 範囲	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		R^2	MSE	R^2	MSE	R^2	MSE	R^2	MSE	R^2	MSE
体重	0-12	0.991	236	0.987	299	0.992	219	0.990	247	0.997	132
	13-24	0.946	701	0.947	782	0.950	686	0.947	735	0.969	632
	25-36	0.796	1442	0.785	1517	0.801	1400	0.797	1423	0.901	1186
	37-48	0.799	2038	0.780	2337	0.782	2217	0.781	2243	0.858	2353
	49-60	0.869	2730	0.862	2529	0.835	3234	0.860	3024	0.900	3000
	61-72	0.922	3205	0.890	4697	0.915	3316	0.902	3837	0.994	3543
体高	0-12	0.984	4.27	0.984	4.38	0.984	4.29	0.984	4.30	0.987	3.80
	13-24	0.909	3.07	0.908	3.12	0.909	3.10	0.908	3.11	0.920	2.79
	25-36	0.830	4.05	0.795	4.85	0.811	4.49	0.813	4.43	0.862	3.82
	37-48	0.913	2.73	0.889	3.46	0.909	2.89	0.899	3.18	0.921	2.92
	49-60	0.923	2.75	0.911	3.02	0.922	2.77	0.921	2.79	0.946	2.45
	61-72	0.943	1.97	0.920	2.52	0.908	2.76	0.917	2.60	0.937	2.42
腰角幅	0-12	0.982	1.31	0.980	1.48	0.982	1.31	0.981	1.34	0.986	1.06
	13-24	0.901	1.77	0.908	1.67	0.909	1.65	0.907	1.67	0.922	1.42
	25-36	0.809	1.83	0.773	2.18	0.820	1.73	0.800	1.92	0.857	1.52
	37-48	0.830	1.86	0.787	2.32	0.845	1.70	0.819	1.97	0.889	1.33
	49-60	0.878	2.08	0.836	2.69	0.885	1.97	0.868	2.25	0.903	1.73
	61-72	0.916	2.00	0.921	1.63	0.926	1.71	0.916	2.01	0.945	1.20
尻長	0-12	0.979	1.27	0.977	1.34	0.979	1.27	0.978	1.28	0.984	1.01
	13-24	0.847	1.94	0.857	1.82	0.852	1.88	0.854	1.86	0.874	1.61
	25-36	0.756	1.75	0.753	1.77	0.727	1.96	0.747	1.82	0.816	1.43
	37-48	0.766	1.88	0.737	2.09	0.770	1.85	0.751	2.01	0.808	1.85
	49-60	0.878	1.57	0.848	1.91	0.860	1.76	0.861	1.76	0.863	1.78
	61-72	0.896	1.76	0.859	2.31	0.897	1.74	0.871	2.15	0.951	0.87
胸囲	0-12	0.985	14.3	0.983	15.8	0.985	14.0	0.985	14.5	0.988	12.7
	13-24	0.900	19.9	0.908	18.7	0.904	19.3	0.904	19.3	0.927	16.1
	25-36	0.702	31.6	0.669	34.8	0.704	31.2	0.686	33.0	0.740	35.0
	37-48	0.800	26.4	0.780	27.3	0.815	23.5	0.820	23.4	0.892	21.6
	49-60	0.930	24.5	0.910	25.5	0.915	26.5	0.920	23.4	0.921	29.4
	61-72	0.930	37.6	0.916	35.9	0.932	31.5	0.934	30.2	0.920	41.3

表7-6(b). データセットBにおいて、測尺時月齢で1年齢別に区分した場合の成長曲線モデルの決定係数(R²)と平均平方誤差(MSE)

形質	月齢 範囲	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE
体重	0-12	0.992	183	0.988	241	0.993	170	0.991	192	0.997	121
	13-24	0.931	926	0.947	776	0.942	804	0.945	791	0.958	802
	25-36	0.773	1867	0.761	2005	0.774	1863	0.772	1874	0.874	1397
	37-48	0.761	2976	0.743	3025	0.755	3136	0.753	3058	0.851	2467
	49-60	0.880	2770	0.874	3082	0.872	2925	0.874	3065	0.925	2801
	61-72	0.961	3924	0.888	4920	0.952	3953	0.914	5380	0.964	3057
体高	0-12	0.987	4.21	0.986	4.53	0.987	4.19	0.987	4.29	0.990	3.56
	13-24	0.920	3.35	0.919	3.38	0.919	3.39	0.920	3.36	0.929	3.01
	25-36	0.857	2.91	0.841	3.24	0.853	2.99	0.850	3.06	0.888	2.45
	37-48	0.902	2.69	0.878	3.32	0.899	2.78	0.896	2.79	0.932	2.24
	49-60	0.903	2.84	0.890	3.18	0.901	2.96	0.911	2.65	0.943	2.15
	61-72	0.911	2.19	0.903	2.40	0.910	2.21	0.892	2.66	0.915	2.41
腰角幅	0-12	0.981	1.44	0.978	1.65	0.982	1.39	0.981	1.46	0.986	1.15
	13-24	0.907	1.62	0.907	1.62	0.909	1.58	0.908	1.61	0.922	1.29
	25-36	0.802	0.80	0.758	2.24	0.791	1.92	0.781	2.02	0.826	1.59
	37-48	0.877	1.45	0.780	2.58	0.839	1.88	0.832	1.97	0.911	1.05
	49-60	0.868	1.73	0.814	2.41	0.847	2.01	0.830	2.24	0.913	1.09
	61-72	0.902	1.82	0.869	2.40	0.878	2.07	0.881	2.11	0.914	1.57
尻長	0-12	0.979	1.38	0.978	1.44	0.979	1.37	0.979	1.38	0.985	1.06
	13-24	0.870	1.60	0.872	1.57	0.874	1.56	0.873	1.56	0.878	1.46
	25-36	0.742	1.75	0.716	1.92	0.738	1.78	0.728	1.84	0.780	1.44
	37-48	0.842	1.47	0.802	1.84	0.822	1.67	0.829	1.60	0.847	1.43
	49-60	0.832	2.08	0.807	2.31	0.839	1.96	0.818	2.21	0.876	1.83
	61-72	0.834	2.25	0.812	2.30	0.796	2.68	0.814	2.33	0.769	2.93
胸囲	0-12	0.985	15.7	0.985	16.5	0.986	15.4	0.985	15.7	0.991	12.1
	13-24	0.882	23.2	0.883	23.1	0.887	22.3	0.885	22.8	0.908	19.1
	25-36	0.742	25.5	0.699	29.5	0.730	26.6	0.725	27.1	0.793	22.9
	37-48	0.863	27.2	0.819	35.4	0.853	28.7	0.848	30.2	0.876	32.3
	49-60	0.926	24.2	0.897	25.9	0.911	27.1	0.914	25.2	0.946	21.6
	61-72	0.941	20.9	0.890	25.8	0.950	15.8	0.934	18.6	0.957	27.4

価を R² および平均平方誤差 MSE で示した。データセット C を使用して推定した成長曲線は、48 ヶ月齢までのデータしか利用できなかったため、表 7-6(c) では測尺時月齢により 4 区分に分類し、R² と MSE により適合性を評価した。

すべての形質の月齢の範囲において最も適合性が高かったモデルは RM であった。第 5 章において指摘したように、RM は曲線の形状を可變的に推定できることから、適合性が高くなったと推察された。ただし、RM は各集団における含まれる個体の 49 から 73%しかパラメータが推定されていないため、たとえ R² と MSE に基づく適合性が最も高いと評価されても、各集団の全平均値と比較した場合、偏りが他のモデルより必ずしも最も小さいとは限らなかった

表7-6(c). データセットCにおいて、測尺時月齢で1年齢別に区分した場合の成長曲線モデルの決定係数(R²)と平均平方誤差(MSE)

形質	月齢 範囲	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE
体重	0-12	0.992	210	0.990	209	0.993	171	0.992	178	0.997	144
	13-24	0.960	759	0.968	675	0.967	641	0.967	657	0.979	691
	25-36	0.784	1915	0.787	1852	0.815	1632	0.803	1703	0.922	1266
	37-48	0.901	2586	0.896	2719	0.922	2147	0.910	2485	0.962	1892
体高	0-12	0.989	4.08	0.988	4.45	0.989	4.13	0.989	4.17	0.992	3.20
	13-24	0.923	2.92	0.923	2.93	0.922	2.96	0.923	2.96	0.931	2.72
	25-36	0.878	3.05	0.863	3.41	0.875	3.12	0.873	3.16	0.892	2.84
	37-48	0.921	2.506	0.925	2.404	0.928	2.341	0.930	2.302	0.961	2.406
腰角幅	0-12	0.973	2.03	0.970	2.26	0.972	2.09	0.972	2.11	0.979	1.65
	13-24	0.906	1.95	0.908	1.92	0.907	1.92	0.908	1.92	0.918	1.69
	25-36	0.799	1.92	0.793	1.96	0.801	1.89	0.799	1.91	0.832	1.74
	37-48	0.896	1.08	0.872	1.28	0.883	1.17	0.894	1.09	0.900	1.15
尻長	0-12	0.973	1.83	0.971	1.93	0.972	1.85	0.972	1.87	0.982	1.31
	13-24	0.883	1.77	0.883	1.78	0.883	1.78	0.883	1.78	0.896	1.68
	25-36	0.816	1.53	0.809	1.57	0.815	1.53	0.814	1.54	0.826	1.50
	37-48	0.846	1.36	0.845	1.35	0.851	1.35	0.840	1.43	0.920	0.97
胸囲	0-12	0.987	14.6	0.985	15.7	0.986	14.6	0.986	14.6	0.990	12.5
	13-24	0.912	20.0	0.912	20.1	0.913	19.7	0.910	20.4	0.930	17.1
	25-36	0.863	20.8	0.854	21.8	0.866	20.3	0.858	21.3	0.889	17.9
	37-48	0.928	17.1	0.943	13.2	0.913	19.2	0.931	16.1	0.957	22.6

(附表 7-1 から 7-15)。それゆえ、RM は標準発育曲線を描くための使用を控えることとした。

表 7-7 には、各データセットにおいて標準発育曲線に採用したモデルを示した。データセット A における体重の成長曲線の場合、最も適合性の高いモデルは RM であったが、生時月齢における実測値(43.3kg)と RM の推定値(27.9kg)の差は非常に大きかった。一方、VM は RM よりも適合性が低かったものの、生時体重の推定値(43.5kg)は実測値との差が最も小さいことから、育成期から初産期までの体重の成長曲線は VM を採用し、それ以降の月齢には BM を当てはめた。体高と腰角幅はすべての月齢に渡り各々BM と VM、尻長は若齢期と高齢期で VM、育成期から初産期に LM を当てはめた。胸囲は体重と同様に VM と GM を使用して標準発育曲線を設定した。

データセット B では、若齢から育成期においてはすべての形質で主に VM、高齢になるほど BM を利用する傾向が増えた。データセット C の場合、体重は VM だけで標準発育曲線を描いたが、体高は BM と GM、尻長と胸囲は BM と VM、さらに腰角幅は BM、GM および VM を利用して標準発育曲線を作成した。なお、成長曲線を組み合わせるときにデータセット B の胸囲およびデ

ータセット C の体重は、モデルとモデルの間のつなぎの月齢に当たる 12 から 13 ヶ月齢に大きな差異があったことから前後の推定値の平均値を用いて修正した。

表7-7. 各データセットにおいて標準発育曲線に採用したモデル

月齢 範囲	採用モデル				
	体重	体高	腰角幅	尻長	胸囲
データセットA (2003-2005年生まれの範囲)					
0-12	VM	BM	VM	VM	VM
13-24	VM	BM	VM	LM	VM
25-36	VM	BM	VM	LM	VM
37-48	BM	BM	VM	VM	GM
49-60	BM	BM	VM	VM	GM
61-72	BM	BM	VM	VM	GM
データセットB (2006-2007年生まれの範囲)					
0-12	VM	VM	VM	VM	VM
13-24	VM	BM	VM	VM	VM
25-36	VM	BM	BM	BM	BM
37-48	BM	BM	BM	BM	BM
49-60	BM	BM	BM	BM	BM
61-72	BM	BM	BM	BM	BM
データセットC (2013-2015年生まれの範囲)					
0-12	VM	BM	BM	BM	BM
13-24	VM	BM	GM	BM	VM
25-36	VM	BM	VM	BM	VM
37-40	VM	GM	BM	VM	VM

(3) 発育値の比較

図 7-1 から図 7-3 には、データセット A、B および C において各形質で適合性の高いモデル組み合わせで描いた成長曲線(発育曲線)を示した。また、表 7-8 には前々回(1983 年公表)と前回(1995 年公表)の発育値、さらに図 7-4 から図 7-6 に示した発育曲線から推定された 3 つのデータセットの発育値を 6 ヶ月齢間隔で示した。前回の発育値は、すべての測尺形質において一部の月齢範囲で前々回の発育値を下回る傾向が認められたが、新しい発育値はすべての形質の各月齢で前回の発育値を上回った。

図 7-4 には、前回(1995 年)、データセット A、データセット B およびデータセット C における各形質の成長曲線の比較を示した。表 7-9 には、データセット A、B および C の各発育値と前回の発育値との差を示した。ここで、① は前回の発育値とデータセット A から推定されて発育値との差である。同様に、前回とデータセット B の発育値間の差を②、前回とデータセット C の発育値間の差を③とした。24 ヶ月齢の体高は、前回の発育値と比較し、データセッ

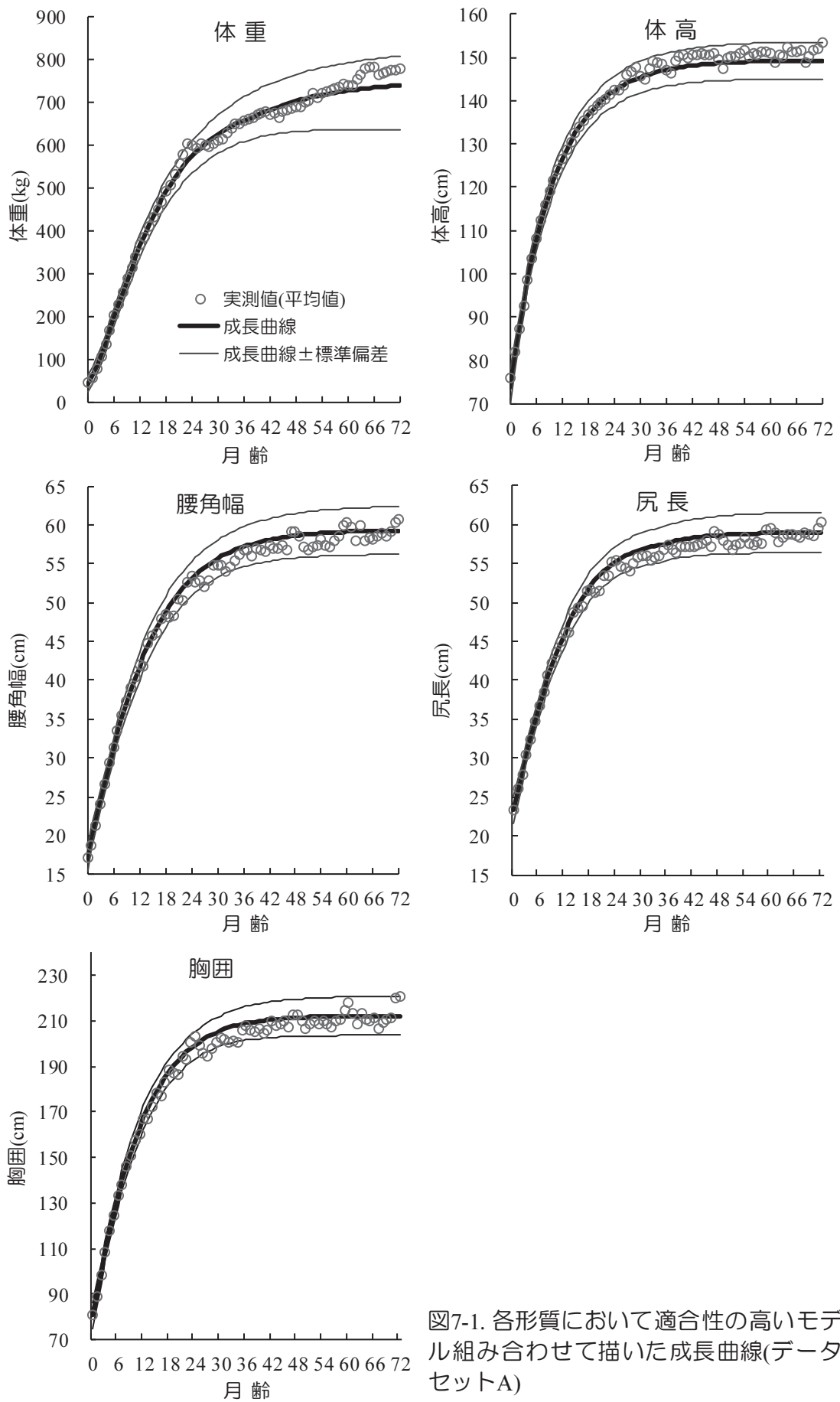


図7-1. 各形質において適合性の高いモデル組み合わせて描いた成長曲線(データセットA)

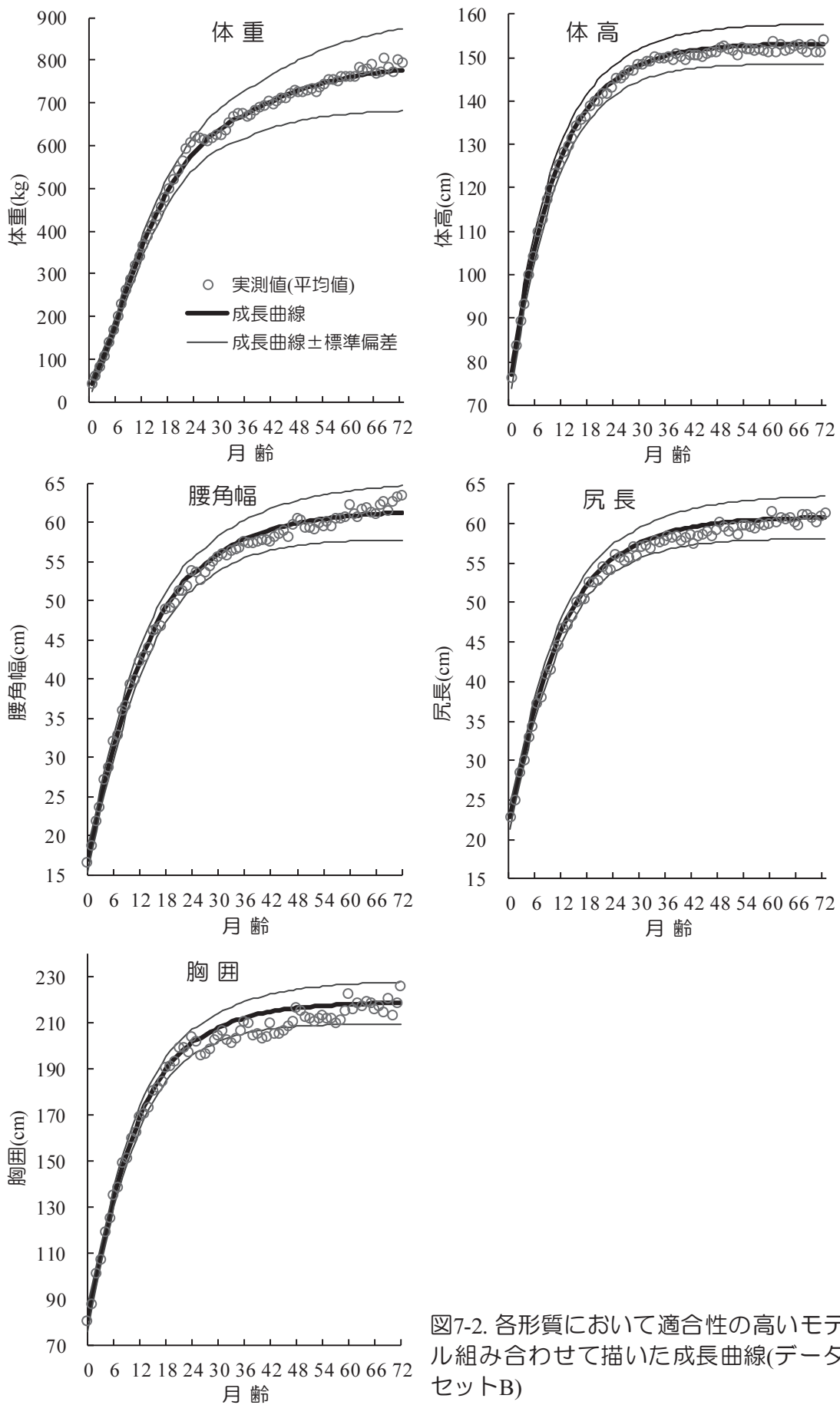


図7-2. 各形質において適合性の高いモデル組み合わせて描いた成長曲線(データセットB)

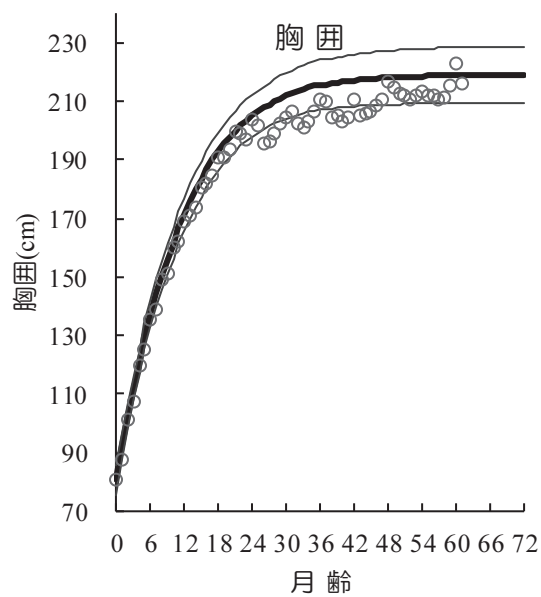
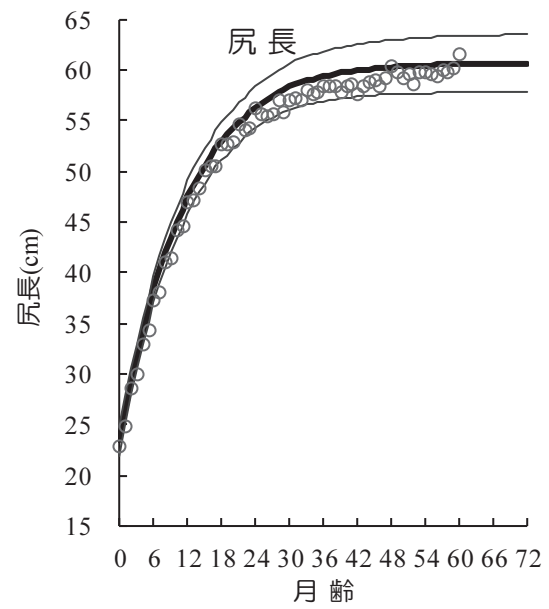
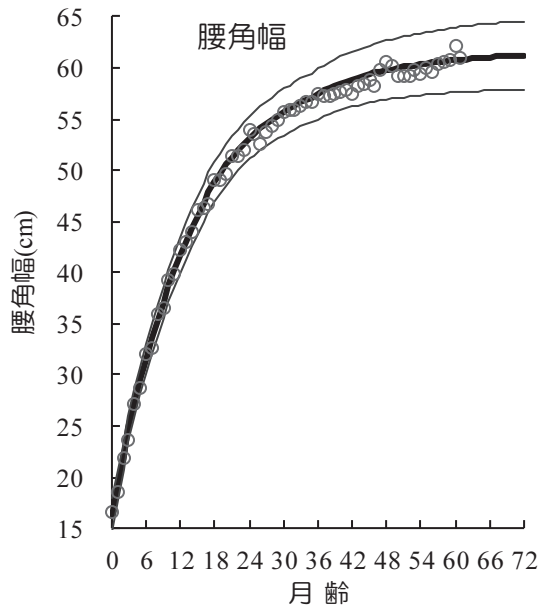
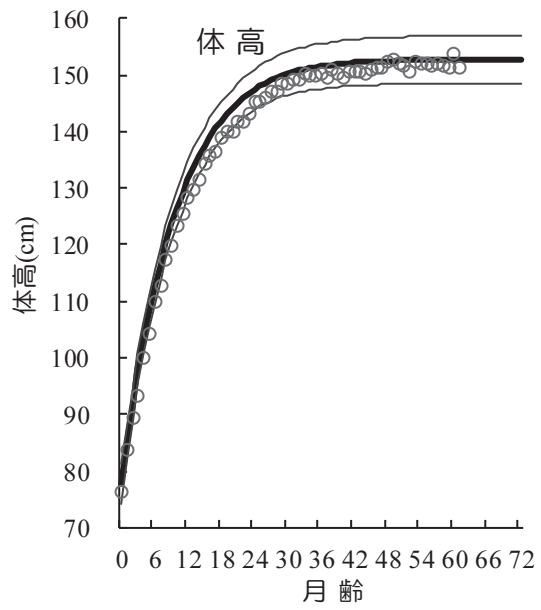
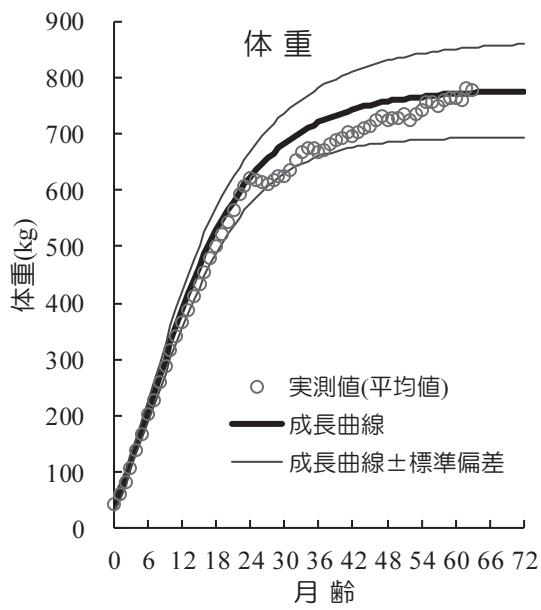


図7-3. 各形質において適合性の高いモデル組み合わせて描いた成長曲線(データセットC)

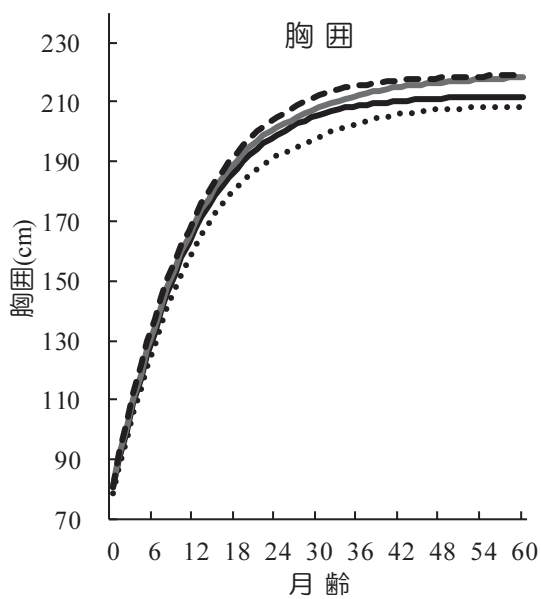
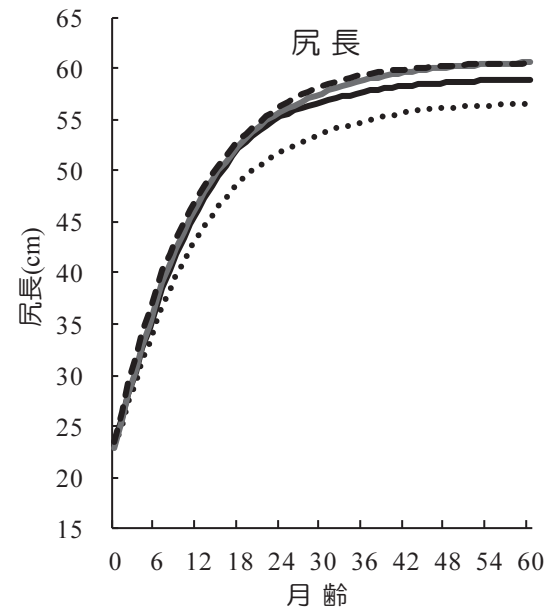
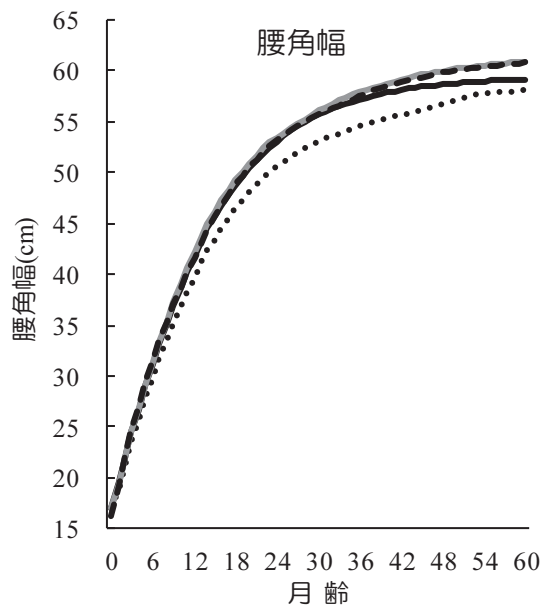
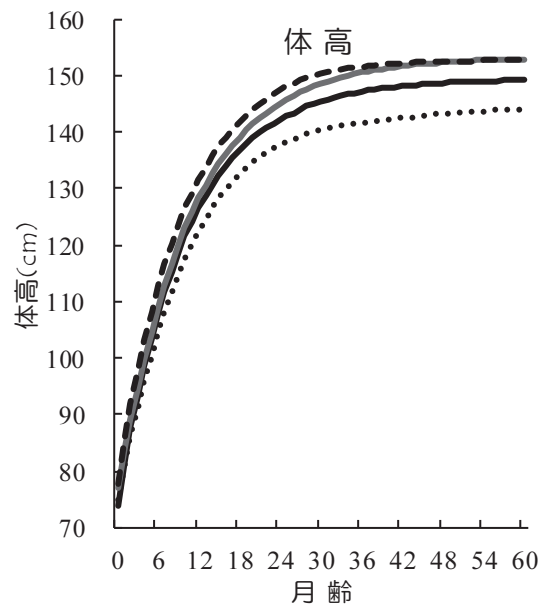
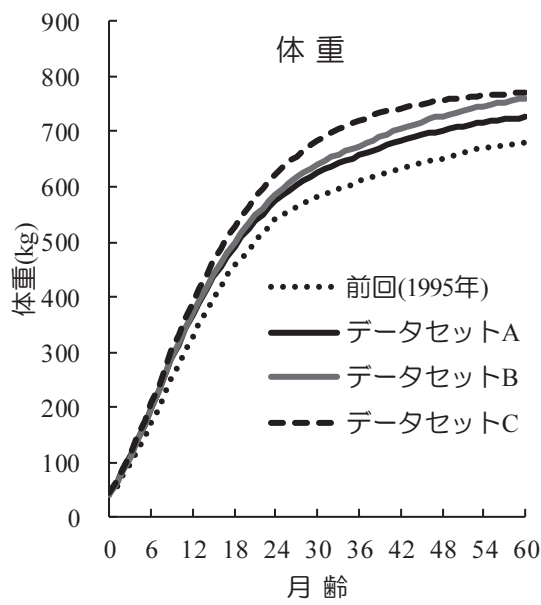


図7-4. 前回(1995年)、データセットA、データセットBおよびデータセットCにおける各形質の成長曲線の比較

ト A、B および C の各発育値との差で 4.4 cm、7.4 cm および 9.7 cm 順次上昇した。また、体重と胸囲は体高の高い集団ほど増加する傾向が認められた。一方、腰角幅は前回の発育値と比較し、最大で 3.4 cm の増加に過ぎなかった。尻長の発育値も体高と比較すれば大きな上昇が認められなかった。

表7-8. 3種のデータセットから推定した発育値と前々回(1983年公表)および前回(1995年公表)の発育値の6ヵ月齢ごとの比較

月 齢	会 次	体 重	体 高	腰 角 幅	尻 長	胸 囲
6	前々回	192.9	107.1	32.5	37.2	132.3
	前 回	172.4	104.5	29.8	35.1	128.3
	A	198.4	108.0	31.1	36.7	132.7
	B	198.5	108.9	31.3	37.1	134.4
	C	206.8	112.7	31.5	38.4	137.3
12	前々回	329.1	123.4	42.1	45.2	161.7
	前 回	327.5	122.4	39.7	43.6	161.5
	A	365.9	126.5	41.8	46.1	167.3
	B	369.4	128.4	42.1	46.7	169.5
	C	388.0	131.6	41.6	47.5	171.3
18	前々回	434.0	131.1	47.9	49.4	177.9
	前 回	458.0	132.5	46.4	48.8	181.3
	A	491.7	136.7	48.7	52.1	187.7
	B	499.8	139.0	49.2	52.5	190.2
	C	528.1	141.8	48.2	52.9	192.9
24	前々回	509.4	135.5	51.6	51.8	187.8
	前 回	540.3	137.7	50.6	51.8	191.9
	A	574.3	142.1	53.1	55.3	199.2
	B	586.5	145.1	53.4	55.8	201.9
	C	622.7	147.4	53.2	56.3	205.2
36	前々回	591.7	141.3	56.1	54.5	199.1
	前 回	609.4	141.6	54.5	54.7	203.0
	A	656.7	147.2	57.2	57.6	209.0
	B	674.5	150.5	57.9	58.8	212.4
	C	720.2	151.6	57.4	59.4	215.7
48	前々回	627.6	141.4	58.0	55.2	201.6
	前 回	651.2	143.2	56.8	56.2	207.5
	A	702.5	148.7	58.6	58.6	211.3
	B	729.0	152.3	59.9	60.1	216.6
	C	756.9	152.5	59.8	60.3	218.1
60	前々回	661.1	142.6	59.6	56.1	205.6
	前 回	680.0	144.0	58.0	56.5	208.5
	A	726.7	149.2	59.1	58.9	211.9
	B	760.1	152.9	60.9	60.6	218.2
	C	770.6	152.7	60.8	60.5	218.9

表7-9. データセットA、BおよびCの各発育値と前回(1995年公表)の発育値との差の比較

	体重(kg)			体高(cm)			腰角幅(cm)			尻長(cm)			胸囲(cm)		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③
6	26.0	26.1	34.4	3.5	4.4	8.2	1.3	1.5	1.7	1.6	2.0	3.3	4.4	6.1	9.0
12	38.4	41.9	60.5	4.1	6.0	9.2	2.1	2.4	1.9	2.5	3.1	3.9	5.8	8.0	9.8
18	33.7	41.8	70.1	4.2	6.5	9.3	2.3	2.8	1.8	3.3	3.7	4.1	6.4	8.9	11.6
24	34.0	46.2	82.4	4.4	7.4	9.7	2.5	2.8	2.6	3.5	4.0	4.5	7.3	10.0	13.3
36	47.3	65.1	110.8	5.6	8.9	10.0	2.7	3.4	2.9	2.9	4.1	4.7	6.0	9.4	12.7
48	51.3	77.8	105.7	5.5	9.1	9.3	1.8	3.1	3.0	2.4	3.9	4.1	3.8	9.1	10.6
60	46.7	80.1	90.6	5.2	8.9	8.7	1.1	2.9	2.8	2.4	4.1	4.0	3.4	9.7	10.4

①: 前回値とデータセットAから推定されて発育値との差

②: 前回値とデータセットBから推定されて発育値との差

③: 前回値とデータセットCから推定されて発育値との差

4. 結論

本研究では、ホルスタイン雌牛の初産時における体高の違いにより 3 種のデータセットを作成し、5 種類のモデルにより体重、体高、腰角幅、尻長および胸囲の成長曲線を推定した。データセット A は初産時の体高が平均約 142 cmであり、第4章の結果から生産寿命の延長が期待できる最適な体のサイズを示す集団である。データセット B と C はわが国のホルスタイン集団の体サイズが近年上昇していることを踏まえて、それぞれ初産時の体高の平均が約 145 cmと 147 cmの集団を作成した。各測尺形質の標準発育曲線は、3 種のデータセットそれぞれにおいて、各月齢区分で最も適合性の高い成長曲線モデルを R^2 と MSE を使用して選定し、それらを組み合わせて作成した。

5. 参考文献

- 1) Becker. J. C, Heins. B. J, Hansen. L. B. 2012. Costs for health care of Holstein cows selected for large versus small body size. *Journal of Dairy Science*, 95:5384-5392
- 2) 藤田千賀子, 鈴木三義. 2006. 乳牛の在群期間の遺伝率ならびに産乳, 体型および繁殖形質との関連. *日畜会報*. 77: 9-15.
- 3) 萩谷功一, 大澤剛史, 増田豊, 鈴木三義, 山崎武志, 長嶺慶隆, 富樫研治. 2011. ホルスタイン種における在群期間と泌乳・体型形質間の遺伝相関の年代的な変化. *日畜会報*. 83:9-19.
- 4) 社団法人日本ホルスタイン登録協会. 1962. ホルスタイン種牛の正常発育値. 社団法人日本ホルスタイン登録協会発行.
- 5) 社団法人日本ホルスタイン登録協会. 1983. ホルスタイン種牝牛の正常発育曲線. 社団法人日本ホルスタイン登録協会発行.
- 6) 社団法人日本ホルスタイン登録協会. 1995. ホルスタイン種雌牛の標準発育

- 値. 社団法人日本ホルスタイン登録協会発行.
- 7) Mahoney. C. B, Hansen. L. B, Young. C. W, Marx. G. D, Reneau. J. K. 1986. Health care of Holstein selected for large or small body size. *Journal of Dairy Science*, 69:3131-3139.
 - 8) 向井文雄, 和田康彦, 並河澄, 棚瀬勝美. 1980. 黒毛和種雌牛の体測定値への非線形発育モデルの当てはめによる発育様相の把握. *日畜会報*. 51:247-255.
 - 9) 日本畜産人工授精師協会. 2018. 家畜人工授精講習会テキスト 家畜人工授精編. 改訂版. 日本家畜人工授精師協会, 東京.
 - 10) SAS Institute Inc. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Version 9.4. Cary, NC:SAS Institute, Inc.
 - 11) 寺脇良悟, 新納正之, 山口斉, 熊田善一郎, 福田豊. 1996. ホルスタイン種雄牛の個体成長記録に対する非線形成長モデルの当てはめ. *北畜会報*. 38: 35-38.

附表7-1. 体重における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差(データセットA)

		体重									
月齢	実測	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	43.3	-18.1	-61.4	91.3	48.0	43.5	0.2	59.5	16.2	27.9	-15.4
2	79.4	68.7	-10.7	119.4	40.0	86.6	7.2	96.3	16.9	79.8	0.4
4	136.4	145.3	8.9	154.3	17.9	140.1	3.7	142.6	6.2	139.4	3.0
6	201.6	213.0	11.5	196.1	-5.5	198.4	-3.2	195.5	-6.0	200.6	-1.0
8	256.3	273.0	16.7	244.1	-12.2	257.3	0.9	251.7	-4.6	260.0	3.7
10	313.0	326.0	13.1	296.4	-16.5	313.7	0.7	307.8	-5.1	315.8	2.8
12	367.5	373.0	5.5	350.4	-17.1	365.9	-1.6	361.3	-6.2	366.8	-0.7
14	409.7	414.7	5.0	403.2	-6.5	413.1	3.5	410.5	0.8	412.8	3.1
16	449.1	451.6	2.5	452.0	2.9	455.0	5.9	454.5	5.4	453.7	4.6
18	491.2	484.4	-6.8	495.1	4.0	491.7	0.5	492.9	1.8	489.6	-1.5
20	533.2	513.4	-19.8	531.9	-1.3	523.5	-9.7	526.1	-7.2	521.1	-12.1
22	579.3	539.2	-40.0	562.3	-17.0	550.9	-28.4	554.3	-25.0	548.5	-30.7
24	599.5	562.2	-37.3	586.8	-12.7	574.3	-25.2	578.0	-21.5	572.3	-27.1
26	603.2	582.6	-20.6	606.2	3.0	594.3	-9.0	597.8	-5.4	592.9	-10.3
28	597.5	600.7	3.3	621.5	24.0	611.2	13.8	614.4	16.9	610.8	13.3
30	609.9	616.9	7.0	633.3	23.4	625.6	15.7	628.0	18.1	626.1	16.2
32	629.0	631.3	2.3	642.4	13.4	637.7	8.7	639.3	10.4	639.4	10.4
34	648.3	644.1	-4.2	649.4	1.1	648.0	-0.3	648.7	0.4	650.9	2.6
36	658.5	655.5	-3.0	654.8	-3.7	656.7	-1.8	656.4	-2.2	660.8	2.3
38	663.6	665.7	2.1	659.0	-4.7	664.0	0.4	662.7	-1.0	669.4	5.8
40	675.5	674.8	-0.6	662.1	-13.3	670.2	-5.3	667.9	-7.6	676.8	1.4
42	670.7	683.0	12.3	664.6	-6.1	675.4	4.7	672.2	1.5	683.3	12.6
44	665.8	690.2	24.4	666.5	0.7	679.8	14.0	675.7	9.9	688.9	23.1
46	681.3	696.7	15.4	667.9	-13.4	683.5	2.2	678.6	-2.7	693.7	12.4
48	687.3	702.5	15.2	669.1	-18.3	686.7	-0.6	681.0	-6.3	698.0	10.6
50	698.4	707.7	9.3	669.9	-28.5	689.3	-9.1	683.0	-15.5	701.7	3.2
52	722.0	712.4	-9.7	670.6	-51.4	691.6	-30.5	684.6	-37.4	704.9	-17.1
54	720.1	716.5	-3.6	671.2	-49.0	693.5	-26.6	685.9	-34.2	707.7	-12.4
56	727.2	720.3	-6.9	671.6	-55.6	695.1	-32.1	687.0	-40.2	710.2	-17.0
58	734.2	723.6	-10.6	671.9	-62.3	696.5	-37.8	688.0	-46.3	712.4	-21.9
60	737.5	726.7	-10.9	672.2	-65.4	697.6	-39.9	688.7	-48.8	714.3	-23.2
62	754.2	729.4	-24.8	672.4	-81.8	698.6	-55.5	689.4	-64.8	716.0	-38.2
64	778.4	731.8	-46.6	672.5	-105.9	699.4	-79.0	689.9	-88.5	717.5	-60.9
66	781.8	734.0	-47.8	672.7	-109.1	700.2	-81.6	690.3	-91.4	718.8	-63.0
68	769.0	736.0	-33.0	672.8	-96.2	700.8	-68.2	690.7	-78.3	720.0	-49.0
70	774.4	737.7	-36.7	672.9	-101.6	701.3	-73.2	691.0	-83.4	721.0	-53.4
72	778.5	739.3	-39.2	672.9	-105.6	701.7	-76.8	691.3	-87.2	722.0	-56.6

附表7-2. 体高における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差(データセットA)

		体高									
月齢	実測	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	76.1	73.9	-2.1	78.0	2.0	75.5	-0.5	76.2	0.2	71.7	-4.3
2	87.2	87.6	0.4	88.4	1.1	87.8	0.6	88.0	0.7	87.6	0.4
4	98.4	98.8	0.4	98.1	-0.4	98.5	0.0	98.4	-0.1	99.2	0.8
6	108.3	108.0	-0.3	106.9	-1.4	107.6	-0.7	107.4	-0.9	108.4	0.1
8	115.9	115.4	-0.5	114.7	-1.2	115.1	-0.8	115.0	-0.9	115.8	-0.1
10	121.7	121.5	-0.1	121.2	-0.4	121.4	-0.2	121.4	-0.3	121.7	0.0
12	126.6	126.5	-0.1	126.7	0.1	126.6	0.0	126.6	0.0	126.6	-0.1
14	130.6	130.6	0.1	131.1	0.6	130.8	0.3	130.9	0.4	130.6	0.0
16	133.8	134.0	0.1	134.7	0.8	134.2	0.4	134.4	0.5	133.9	0.0
18	136.8	136.7	0.0	137.5	0.7	137.0	0.2	137.1	0.4	136.6	-0.2
20	138.8	139.0	0.1	139.7	0.8	139.2	0.4	139.4	0.5	138.8	-0.1
22	140.3	140.8	0.5	141.4	1.0	141.0	0.7	141.1	0.8	140.6	0.3
24	142.4	142.1	-0.3	142.7	0.2	142.5	0.0	142.5	0.1	142.2	-0.3
26	143.4	143.4	0.2	143.7	0.3	143.6	0.3	143.7	0.3	143.5	0.1
28	146.5	144.6	-1.9	144.5	-2.1	144.6	-1.9	144.6	-2.0	144.5	-2.0
30	145.6	145.5	-0.1	145.0	-0.5	145.3	-0.3	145.3	-0.3	145.4	-0.2
32	147.3	146.1	-1.2	145.5	-1.8	145.9	-1.4	145.8	-1.5	146.1	-1.2
34	148.8	146.7	-2.1	145.8	-3.0	146.4	-2.4	146.3	-2.6	146.8	-2.1
36	146.9	147.2	0.2	146.1	-0.9	146.8	-0.1	146.6	-0.3	147.3	0.3
38	149.0	147.6	-1.5	146.3	-2.8	147.1	-1.9	146.9	-2.1	147.7	-1.3
40	150.7	147.9	-2.8	146.4	-4.2	147.4	-3.3	147.1	-3.5	148.1	-2.6
42	150.5	148.1	-2.3	146.6	-3.9	147.6	-2.9	147.3	-3.2	148.4	-2.1
44	150.9	148.4	-2.5	146.6	-4.2	147.7	-3.1	147.4	-3.4	148.7	-2.2
46	150.7	148.5	-2.1	146.7	-4.0	147.9	-2.8	147.5	-3.1	148.9	-1.8
48	149.4	148.7	-0.7	146.8	-2.6	148.0	-1.4	147.6	-1.8	149.1	-0.3
50	149.8	148.8	-1.0	146.8	-3.0	148.0	-1.8	147.7	-2.1	149.2	-0.6
52	150.4	148.9	-1.5	146.8	-3.6	148.1	-2.3	147.8	-2.6	149.3	-1.1
54	151.6	149.0	-2.6	146.9	-4.7	148.2	-3.4	147.8	-3.8	149.5	-2.1
56	151.0	149.1	-2.0	146.9	-4.1	148.2	-2.8	147.8	-3.2	149.6	-1.5
58	151.4	149.1	-2.3	146.9	-4.5	148.2	-3.1	147.9	-3.5	149.6	-1.7
60	151.1	149.2	-1.9	146.9	-4.2	148.3	-2.8	147.9	-3.2	149.7	-1.4
62	150.6	149.2	-1.4	146.9	-3.7	148.3	-2.3	147.9	-2.7	149.8	-0.8
64	152.4	149.2	-3.1	146.9	-5.5	148.3	-4.0	147.9	-4.4	149.8	-2.5
66	151.4	149.3	-2.1	146.9	-4.5	148.3	-3.1	147.9	-3.5	149.9	-1.5
68	148.9	149.3	0.3	146.9	-2.0	148.3	-0.6	147.9	-1.0	149.9	1.0
70	151.7	149.3	-2.5	146.9	-4.8	148.4	-3.4	147.9	-3.8	149.9	-1.8
72	153.3	149.3	-4.0	146.9	-6.3	148.4	-4.9	147.9	-5.3	150.0	-3.3

附表7-3. 腰角幅における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差(データセットA)

		腰角幅									
月齢	実測	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	16.3	15.8	-0.5	18.9	2.6	17.1	0.8	17.6	1.3	15.0	-1.3
2	21.4	21.8	0.4	22.6	1.2	22.0	0.6	22.1	0.7	21.7	0.3
4	26.6	27.1	0.5	26.5	-0.1	26.7	0.1	26.6	0.0	27.0	0.4
6	31.5	31.6	0.1	30.5	-0.9	31.1	-0.3	31.0	-0.5	31.5	0.1
8	35.5	35.5	0.0	34.5	-1.0	35.1	-0.4	34.9	-0.5	35.4	0.0
10	39.1	38.9	-0.3	38.2	-0.9	38.7	-0.5	38.5	-0.6	38.8	-0.3
12	42.0	41.8	-0.3	41.6	-0.4	41.8	-0.3	41.7	-0.3	41.8	-0.3
14	44.9	44.3	-0.6	44.6	-0.3	44.5	-0.4	44.5	-0.4	44.3	-0.6
16	46.2	46.5	0.3	47.2	1.0	46.8	0.6	46.9	0.7	46.5	0.3
18	48.6	48.4	-0.2	49.3	0.8	48.7	0.2	48.9	0.3	48.4	-0.2
20	48.4	50.0	1.6	51.1	2.7	50.4	2.1	50.6	2.2	50.0	1.6
22	50.3	51.4	1.1	52.5	2.2	51.9	1.5	52.0	1.7	51.4	1.1
24	53.6	52.7	-0.9	53.7	0.1	53.1	-0.5	53.2	-0.3	52.7	-0.9
26	52.9	53.7	0.8	54.6	1.7	54.1	1.2	54.2	1.4	53.7	0.9
28	53.0	54.6	1.7	55.3	2.4	54.9	2.0	55.1	2.1	54.7	1.7
30	54.9	55.4	0.5	55.9	1.0	55.7	0.7	55.7	0.8	55.5	0.6
32	54.1	56.1	2.0	56.3	2.2	56.3	2.1	56.3	2.1	56.2	2.0
34	55.4	56.7	1.4	56.7	1.3	56.8	1.4	56.8	1.4	56.8	1.4
36	56.8	57.3	0.5	56.9	0.2	57.2	0.4	57.1	0.3	57.3	0.5
38	56.1	57.7	1.6	57.2	1.1	57.5	1.4	57.4	1.3	57.8	1.7
40	56.9	58.1	1.2	57.3	0.4	57.8	0.9	57.7	0.8	58.2	1.3
42	57.4	58.5	1.1	57.4	0.1	58.1	0.7	57.9	0.5	58.5	1.2
44	57.1	58.8	1.6	57.5	0.4	58.3	1.2	58.1	0.9	58.9	1.7
46	56.8	59.0	2.2	57.6	0.8	58.5	1.7	58.2	1.4	59.1	2.3
48	59.3	59.3	-0.1	57.7	-1.6	58.6	-0.7	58.4	-1.0	59.4	0.1
50	57.2	59.5	2.2	57.7	0.5	58.8	1.5	58.5	1.2	59.6	2.4
52	57.3	59.6	2.3	57.8	0.4	58.9	1.5	58.5	1.2	59.8	2.4
54	58.2	59.8	1.6	57.8	-0.4	58.9	0.7	58.6	0.4	59.9	1.7
56	57.3	59.9	2.6	57.8	0.5	59.0	1.7	58.7	1.3	60.1	2.7
58	58.6	60.0	1.5	57.8	-0.7	59.1	0.5	58.7	0.1	60.2	1.7
60	60.5	60.1	-0.3	57.8	-2.6	59.1	-1.3	58.7	-1.7	60.3	-0.1
62	58.0	60.2	2.3	57.9	-0.1	59.2	1.2	58.8	0.8	60.4	2.5
64	58.1	60.3	2.2	57.9	-0.3	59.2	1.1	58.8	0.7	60.5	2.4
66	58.3	60.4	2.1	57.9	-0.4	59.2	0.9	58.8	0.5	60.6	2.3
68	59.0	60.4	1.4	57.9	-1.1	59.3	0.3	58.8	-0.2	60.7	1.7
70	59.2	60.5	1.3	57.9	-1.3	59.3	0.1	58.8	-0.3	60.8	1.6
72	60.8	60.5	-0.2	57.9	-2.9	59.3	59.3	58.9	-1.9	60.5	-0.2

附表7-4. 尻長における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差(データセットA)

		尻長									
月齢	実測	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	23.3	22.1	-1.2	24.3	1.0	23.4	0.1	23.0	-0.3	21.2	-2.1
2	28.0	28.0	0.0	28.3	0.3	28.1	0.1	28.1	0.1	27.9	-0.1
4	32.4	32.9	0.5	32.4	0.0	32.7	0.3	32.6	0.2	33.0	0.5
6	36.7	37.1	0.4	36.3	-0.4	36.8	0.1	36.7	0.0	37.1	0.5
8	40.6	40.6	0.0	40.0	-0.6	40.4	-0.2	40.3	-0.3	40.6	0.0
10	43.7	43.5	-0.1	43.2	-0.4	43.5	-0.2	43.4	-0.3	43.5	-0.1
12	46.3	46.0	-0.3	46.1	-0.2	46.1	-0.2	46.1	-0.2	46.0	-0.3
14	48.8	48.1	-0.7	48.5	-0.3	48.3	-0.5	48.3	-0.4	48.0	-0.7
16	49.6	49.9	0.3	50.5	0.9	50.1	0.6	50.2	0.7	49.8	0.2
18	51.8	51.4	-0.4	52.1	0.3	51.7	-0.1	51.8	0.0	51.3	-0.5
20	51.4	52.7	1.2	53.4	2.0	52.9	1.5	53.1	1.6	52.5	1.1
22	53.4	53.7	0.3	54.5	1.0	54.0	0.6	54.1	0.7	53.6	0.2
24	55.5	54.6	-0.8	55.3	-0.2	54.9	-0.6	55.0	-0.5	54.5	-1.0
26	54.5	55.4	0.9	55.9	1.4	55.6	1.1	55.7	1.2	55.3	0.8
28	54.9	56.1	1.1	56.4	1.5	56.2	1.3	56.3	1.3	55.9	1.0
30	56.0	56.6	0.6	56.8	0.8	56.7	0.7	56.7	0.8	56.5	0.5
32	55.5	57.1	1.6	57.1	1.6	57.1	1.6	57.1	1.6	57.0	1.4
34	56.1	57.5	1.4	57.3	1.2	57.4	1.3	57.4	1.3	57.4	1.3
36	57.4	57.8	0.4	57.5	0.1	57.7	0.3	57.7	0.2	57.7	0.3
38	56.4	58.1	1.7	57.6	1.2	57.9	1.5	57.9	1.4	58.0	1.6
40	57.1	58.3	1.2	57.8	0.7	58.1	1.0	58.0	0.9	58.3	1.2
42	57.1	58.6	1.4	57.8	0.7	58.3	1.2	58.2	1.0	58.5	1.4
44	57.6	58.7	1.1	57.9	0.3	58.4	0.8	58.3	0.7	58.7	1.1
46	57.2	58.9	1.7	57.9	0.8	58.5	1.3	58.4	1.2	58.9	1.7
48	58.8	59.0	0.2	58.0	-0.8	58.6	-0.2	58.4	-0.4	59.0	0.2
50	57.4	59.1	1.7	58.0	0.6	58.7	1.3	58.5	1.1	59.2	1.7
52	57.3	59.2	1.9	58.0	0.7	58.7	1.4	58.5	1.2	59.3	2.0
54	58.3	59.3	1.0	58.1	-0.2	58.8	0.5	58.6	0.3	59.4	1.1
56	57.5	59.4	1.9	58.1	0.6	58.8	1.4	58.6	1.2	59.5	2.0
58	57.7	59.4	1.8	58.1	0.4	58.9	1.2	58.6	1.0	59.5	1.9
60	59.6	59.5	-0.2	58.1	-1.5	58.9	-0.7	58.7	-1.0	59.6	0.0
62	57.7	59.5	1.8	58.1	0.4	58.9	1.2	58.7	0.9	59.7	1.9
64	58.7	59.5	0.8	58.1	-0.6	58.9	0.2	58.7	0.0	59.7	1.0
66	58.6	59.6	1.0	58.1	-0.5	59.0	0.4	58.7	0.1	59.8	1.2
68	59.0	59.6	0.6	58.1	-0.9	59.0	0.0	58.7	-0.3	59.8	0.8
70	58.6	59.6	1.0	58.1	-0.5	59.0	0.4	58.7	0.1	59.8	1.2
72	60.3	59.7	-0.7	58.1	-2.2	59.0	-1.3	58.7	-1.6	59.6	-0.8

附表7-5. 胸囲における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差(データセットA)

		胸囲									
月齢	実測	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	80.6	77.0	-3.6	85.8	5.2	80.6	0.0	82.1	1.5	73.9	-6.7
2	98.6	99.5	0.8	100.9	2.3	99.8	1.1	100.0	1.4	99.4	0.7
4	117.9	118.2	0.3	116.2	-1.7	117.3	-0.6	116.9	-1.0	118.5	0.6
6	133.3	133.9	0.5	131.0	-2.4	132.7	-0.6	132.3	-1.1	134.0	0.7
8	145.9	147.0	1.0	144.7	-1.3	146.2	0.2	145.8	-0.1	146.9	1.0
10	157.4	157.9	0.5	156.9	-0.5	157.6	0.2	157.5	0.1	157.7	0.3
12	166.7	167.1	0.4	167.5	0.8	167.3	0.6	167.4	0.7	166.8	0.1
14	171.9	174.8	2.9	176.4	4.5	175.4	3.5	175.7	3.8	174.4	2.5
16	177.1	181.3	4.1	183.6	6.5	182.1	5.0	182.5	5.4	180.8	3.6
18	188.1	186.7	-1.4	189.5	1.4	187.7	-0.4	188.2	0.1	186.2	-1.9
20	186.3	191.2	4.9	194.1	7.8	192.3	6.0	192.8	6.5	190.8	4.5
22	193.0	195.1	2.1	197.7	4.8	196.1	3.1	196.5	3.6	194.6	1.7
24	202.9	198.3	-4.6	200.6	-2.3	199.2	-3.7	199.6	-3.3	197.9	-4.9
26	195.5	201.0	5.5	202.8	7.2	201.7	6.2	202.0	6.5	200.8	5.2
28	197.9	203.3	5.3	204.5	6.5	203.8	5.8	204.0	6.1	203.2	5.2
30	202.1	205.2	3.1	205.7	3.6	205.5	3.4	205.6	3.5	205.2	3.1
32	200.5	206.8	6.3	206.7	6.2	206.9	6.4	206.9	6.4	207.0	6.4
34	200.7	208.2	7.5	207.5	6.8	208.0	7.4	207.9	7.3	208.5	7.8
36	207.7	209.4	1.7	208.1	0.4	209.0	1.3	208.8	1.1	209.7	2.1
38	205.3	210.3	5.0	208.5	3.2	209.7	4.4	209.4	4.1	210.9	5.6
40	204.7	211.2	6.4	208.9	4.1	210.3	5.6	210.0	5.2	211.8	7.1
42	210.1	211.9	1.8	209.1	-1.0	210.9	0.8	210.4	0.3	212.7	2.6
44	208.5	212.5	4.0	209.3	0.8	211.3	2.8	210.7	2.2	213.4	4.9
46	207.0	213.0	6.0	209.5	2.5	211.6	4.6	211.0	4.0	214.0	7.0
48	212.7	213.4	0.7	209.6	-3.1	211.9	-0.8	211.3	-1.5	214.6	1.8
50	206.6	213.7	7.1	209.7	3.1	212.1	5.5	211.4	4.8	215.0	8.4
52	209.6	214.0	4.4	209.8	0.1	212.3	2.7	211.6	2.0	215.4	5.8
54	210.1	214.3	4.2	209.8	-0.3	212.5	2.4	211.7	1.6	215.8	5.7
56	206.9	214.5	7.7	209.9	3.0	212.6	5.8	211.8	4.9	216.1	9.3
58	210.3	214.7	4.5	209.9	-0.4	212.7	2.5	211.9	1.6	216.4	6.2
60	217.7	214.9	-2.8	209.9	-7.8	212.8	-4.9	211.9	-5.8	216.7	-1.1
62	208.7	215.0	6.3	209.9	1.2	212.9	4.2	212.0	3.3	216.9	8.2
64	210.8	215.1	4.3	209.9	-0.9	212.9	2.1	212.0	1.2	217.1	6.3
66	211.0	215.2	4.2	210.0	-1.0	213.0	2.0	212.1	1.1	217.2	6.2
68	209.3	215.3	6.0	210.0	0.6	213.0	3.7	212.1	2.8	217.4	8.1
70	211.3	215.4	4.1	210.0	-1.3	213.1	1.8	212.1	0.9	217.5	6.3
72	220.6	215.4	-5.1	210.0	-10.6	213.1	-7.5	212.1	-8.4	215.7	-4.9

附表7-6. 体重における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差(データセットB)

		体重									
月齢	実測値	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	43.5	-4.3	-47.8	84.9	41.4	41.9	-1.5	56.1	12.6	33.2	-10.3
2	83.8	77.6	-6.2	113.0	29.2	85.1	1.4	92.9	9.1	85.7	1.9
4	139.3	150.7	11.4	148.6	9.3	139.0	-0.3	139.8	0.5	144.2	4.9
6	202.2	216.1	13.9	191.8	-10.4	198.5	-3.7	194.0	-8.3	204.2	2.0
8	261.5	274.6	13.0	242.1	-19.4	258.0	-3.5	251.8	-9.8	262.8	1.3
10	318.0	326.9	8.9	297.4	-20.6	315.7	-2.3	309.7	-8.3	318.3	0.2
12	366.2	373.7	7.5	354.7	-11.5	369.4	3.2	365.2	-1.0	369.5	3.3
14	412.3	415.7	3.4	410.6	-1.7	418.2	5.8	416.4	4.1	416.2	3.9
16	455.7	453.4	-2.3	462.3	6.6	461.6	5.9	462.2	6.5	458.2	2.4
18	499.9	487.2	-12.7	507.8	7.9	499.8	-0.1	502.4	2.6	495.6	-4.3
20	543.7	517.5	-26.2	546.4	2.7	533.0	-10.6	537.1	-6.5	528.7	-15.0
22	592.4	544.7	-47.6	578.0	-14.3	561.8	-30.6	566.7	-25.7	557.9	-34.5
24	622.8	569.3	-53.5	603.4	-19.4	586.5	-36.3	591.6	-31.2	583.5	-39.3
26	613.4	591.3	-22.1	623.3	9.9	607.6	-5.8	612.4	-1.0	606.0	-7.4
28	616.6	611.1	-5.4	638.8	22.2	625.7	9.1	629.8	13.2	625.6	9.1
30	623.6	629.0	5.4	650.7	27.1	641.0	17.4	644.2	20.6	642.8	19.2
32	653.7	645.1	-8.6	659.7	6.0	654.0	0.3	656.1	2.4	657.9	4.2
34	676.0	659.7	-16.4	666.6	-9.4	665.1	-11.0	665.9	-10.2	671.0	-5.0
36	669.6	672.8	3.2	671.8	2.3	674.5	4.9	674.0	4.4	682.6	13.0
38	681.2	684.7	3.5	675.8	-5.4	682.4	1.2	680.6	-0.6	692.6	11.4
40	693.6	695.4	1.8	678.8	-14.8	689.1	-4.5	686.0	-7.6	701.5	7.9
42	697.5	705.1	7.6	681.0	-16.5	694.8	-2.7	690.5	-7.0	709.2	11.7
44	710.9	713.8	2.9	682.8	-28.2	699.6	-11.4	694.2	-16.7	716.0	5.1
46	722.9	721.8	-1.2	684.1	-38.9	703.7	-19.3	697.2	-25.7	722.0	-0.9
48	724.2	729.0	4.7	685.0	-39.2	707.1	-17.1	699.7	-24.5	727.3	3.1
50	729.2	735.5	6.3	685.8	-43.4	710.0	-19.1	701.8	-27.4	732.0	2.8
52	724.9	741.4	16.5	686.4	-38.5	712.5	-12.4	703.4	-21.5	736.1	11.2
54	743.7	746.8	3.1	686.8	-56.8	714.6	-29.0	704.8	-38.8	739.7	-3.9
56	755.3	751.6	-3.7	687.2	-68.1	716.4	-38.9	706.0	-49.3	743.0	-12.3
58	760.9	756.1	-4.8	687.4	-73.5	717.9	-43.0	706.9	-54.0	745.8	-15.1
60	761.9	760.1	-1.8	687.6	-74.3	719.2	-42.7	707.7	-54.2	748.4	-13.5
62	782.3	763.8	-18.5	687.8	-94.5	720.3	-61.9	708.4	-73.9	750.7	-31.6
64	778.8	767.1	-11.7	687.9	-90.9	721.3	-57.6	708.9	-69.9	752.7	-26.1
66	767.5	770.1	2.7	688.0	-79.4	722.0	-45.4	709.3	-58.1	754.6	-12.9
68	803.0	772.9	-30.1	688.1	-115.0	722.7	-80.3	709.7	-93.3	756.2	-46.9
70	773.9	775.5	1.5	688.1	-85.8	723.3	-50.6	710.0	-63.9	757.7	-16.3
72	792.9	777.8	-15.1	688.2	-104.7	723.8	-69.1	710.3	-82.6	759.0	-33.9

附表7-7. 体高における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差(データセットB)

		体高									
月齢	実測値	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	76.3	76.0	-0.3	78.8	2.5	77.0	0.7	77.5	1.2	75.4	-0.9
2	89.3	89.4	0.1	89.3	0.0	89.2	-0.1	89.2	-0.1	89.7	0.4
4	99.9	100.4	0.5	99.1	-0.8	99.8	0.0	99.6	-0.2	100.9	1.0
6	109.9	109.5	-0.5	108.1	-1.8	108.9	-1.0	108.7	-1.2	110.0	0.1
8	117.4	117.0	-0.5	116.0	-1.4	116.6	-0.8	116.5	-0.9	117.4	0.0
10	123.5	123.2	-0.3	122.9	-0.6	123.1	-0.4	123.0	-0.4	123.6	0.1
12	128.2	128.3	0.1	128.6	0.4	128.4	0.2	128.5	0.3	128.6	0.5
14	131.4	132.6	1.1	133.3	1.8	132.8	1.4	132.9	1.5	132.8	1.4
16	135.6	136.1	0.5	137.1	1.4	136.4	0.8	136.6	1.0	136.3	0.7
18	139.1	139.0	-0.1	140.1	1.0	139.4	0.3	139.6	0.5	139.2	0.1
20	140.1	141.4	1.3	142.5	2.4	141.8	1.7	142.0	1.9	141.6	1.5
22	141.8	143.4	1.6	144.3	2.5	143.7	1.9	143.9	2.1	143.6	1.7
24	145.4	145.1	-0.4	145.8	0.3	145.3	-0.1	145.5	0.0	145.2	-0.2
26	146.1	146.4	0.3	146.9	0.8	146.6	0.5	146.7	0.6	146.6	0.5
28	147.2	147.6	0.4	147.8	0.6	147.7	0.5	147.7	0.5	147.8	0.6
30	148.6	148.5	-0.1	148.4	-0.2	148.5	-0.1	148.5	-0.1	148.8	0.1
32	149.3	149.3	0.0	149.0	-0.3	149.2	-0.1	149.2	-0.1	149.6	0.3
34	149.7	150.0	0.2	149.4	-0.4	149.8	0.0	149.7	-0.1	150.2	0.5
36	150.3	150.5	0.2	149.7	-0.6	150.2	0.0	150.1	-0.2	150.8	0.5
38	150.9	151.0	0.0	149.9	-1.1	150.6	-0.4	150.4	-0.5	151.3	0.4
40	149.5	151.4	1.9	150.1	0.6	150.9	1.4	150.7	1.2	151.7	2.2
42	150.7	151.7	0.9	150.2	-0.5	151.1	0.4	150.9	0.2	152.1	1.3
44	150.3	151.9	1.6	150.3	0.0	151.3	1.0	151.1	0.8	152.3	2.0
46	151.4	152.2	0.7	150.4	-1.0	151.5	0.1	151.2	-0.2	152.6	1.2
48	152.5	152.3	-0.2	150.5	-2.1	151.6	-0.9	151.3	-1.2	152.8	0.3
50	152.0	152.5	0.5	150.5	-1.5	151.7	-0.2	151.4	-0.6	153.0	1.0
52	150.6	152.6	2.0	150.5	-0.1	151.8	1.2	151.5	0.8	153.1	2.5
54	152.0	152.7	0.7	150.6	-1.4	151.9	-0.1	151.5	-0.5	153.2	1.3
56	151.5	152.8	1.3	150.6	-0.9	151.9	0.4	151.6	0.0	153.4	1.8
58	151.7	152.9	1.1	150.6	-1.1	152.0	0.2	151.6	-0.1	153.4	1.7
60	153.9	152.9	-1.0	150.6	-3.3	152.0	-1.9	151.6	-2.3	153.5	-0.4
62	153.1	153.0	-0.1	150.6	-2.5	152.0	-1.0	151.6	-1.4	153.6	0.5
64	152.1	153.0	0.9	150.6	-1.5	152.1	-0.1	151.7	-0.5	153.6	1.5
66	152.9	153.1	0.2	150.6	-2.3	152.1	-0.8	151.7	-1.2	153.7	0.8
68	151.4	153.1	1.7	150.7	-0.8	152.1	0.7	151.7	0.3	153.7	2.3
70	151.4	153.1	1.7	150.7	-0.8	152.1	0.7	151.7	0.3	153.8	2.3
72	155.2	153.2	-2.0	150.7	-4.5	152.1	-3.1	151.7	-3.5	153.8	-1.4

附表7-8. 腰角幅における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差(データセットB)

		腰角幅									
月齢	実測値	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	16.6	15.8	-0.8	18.7	2.1	16.9	0.3	17.4	0.8	15.6	-1.1
2	21.8	21.9	0.1	22.5	0.7	22.0	0.2	22.1	0.3	22.0	0.2
4	27.2	27.2	0.1	26.5	-0.6	26.8	-0.3	26.7	-0.5	27.3	0.1
6	32.0	31.8	-0.2	30.7	-1.3	31.3	-0.6	31.1	-0.9	31.9	-0.1
8	35.9	35.7	-0.2	34.7	-1.2	35.4	-0.5	35.2	-0.7	35.8	-0.1
10	39.3	39.2	-0.1	38.5	-0.8	39.0	-0.3	38.9	-0.4	39.3	0.0
12	42.2	42.1	-0.1	42.0	-0.3	42.1	-0.1	42.1	-0.1	42.2	0.0
14	44.0	44.7	0.7	45.0	1.0	44.9	0.8	44.9	0.9	44.8	0.8
16	46.3	46.9	0.6	47.6	1.4	47.2	0.9	47.3	1.1	47.0	0.8
18	49.0	48.8	-0.1	49.8	0.8	49.2	0.3	49.4	0.4	49.0	0.0
20	49.7	50.5	0.8	51.6	1.9	50.9	1.2	51.1	1.4	50.6	0.9
22	51.3	51.9	0.6	53.0	1.7	52.3	1.0	52.5	1.2	52.1	0.7
24	53.9	53.2	-0.7	54.1	0.3	53.4	-0.5	53.7	-0.2	53.3	-0.6
26	52.5	54.3	1.7	55.0	2.5	54.6	2.1	54.7	2.2	54.4	1.9
28	54.3	55.2	0.9	55.7	1.4	55.4	1.1	55.5	1.2	55.3	1.0
30	55.6	56.0	0.4	56.3	0.7	56.2	0.6	56.2	0.6	56.1	0.5
32	55.9	56.7	0.9	56.7	0.9	56.8	0.9	56.8	0.9	56.8	1.0
34	56.6	57.4	0.7	57.1	0.4	57.3	0.6	57.2	0.6	57.5	0.8
36	57.5	57.9	0.4	57.3	-0.2	57.7	0.2	57.6	0.1	58.0	0.5
38	57.2	58.4	1.1	57.5	0.3	58.1	0.8	57.9	0.7	58.5	1.2
40	57.7	58.8	1.1	57.7	0.0	58.4	0.7	58.2	0.5	58.9	1.2
42	57.4	59.1	1.7	57.8	0.3	58.6	1.2	58.4	0.9	59.2	1.8
44	58.5	59.4	0.9	57.9	-0.6	58.8	0.3	58.5	0.0	59.5	1.0
46	58.1	59.7	1.6	57.9	-0.2	59.0	0.8	58.7	0.5	59.8	1.7
48	60.6	59.9	-0.6	58.0	-2.6	59.1	-1.4	58.8	-1.8	60.0	-0.5
50	59.2	60.2	1.0	58.0	-1.2	59.3	0.1	58.9	-0.3	60.3	1.1
52	59.2	60.3	1.2	58.1	-1.1	59.4	0.2	59.0	-0.2	60.4	1.3
54	59.4	60.5	1.1	58.1	-1.3	59.5	0.1	59.0	-0.4	60.6	1.2
56	59.6	60.6	1.1	58.1	-1.5	59.5	-0.1	59.1	-0.5	60.7	1.2
58	60.5	60.7	0.2	58.1	-2.4	59.6	-0.9	59.1	-1.4	60.9	0.4
60	62.1	60.9	-1.3	58.1	-4.0	59.6	-2.5	59.2	-3.0	61.0	-1.2
62	60.7	60.9	0.2	58.1	-2.6	59.7	-1.1	59.2	-1.5	61.1	0.4
64	61.8	61.0	-0.7	58.2	-3.6	59.7	-2.0	59.2	-2.5	61.2	-0.6
66	61.1	61.1	0.0	58.2	-2.9	59.7	-1.3	59.2	-1.8	61.3	0.2
68	62.6	61.2	-1.4	58.2	-4.4	59.8	-2.8	59.3	-3.3	61.3	-1.3
70	62.6	61.2	-1.3	58.2	-4.4	59.8	-2.8	59.3	-3.3	61.4	-1.2
72	63.3	61.3	-2.1	58.2	-5.2	59.8	-3.5	59.3	-4.1	61.4	-1.9

附表7-9. 尻長における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差(データセットB)

		尻長									
月齢	実測値	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	22.9	22.1	-0.8	24.1	1.2	22.9	0.0	23.2	0.3	22.1	-0.8
2	28.6	28.2	-0.4	28.3	-0.3	28.1	-0.4	28.1	-0.4	28.4	-0.1
4	33.0	33.2	0.2	32.5	-0.5	32.9	-0.1	32.8	-0.3	33.5	0.5
6	37.2	37.5	0.3	36.6	-0.6	37.1	-0.1	37.0	-0.2	37.8	0.6
8	41.0	41.1	0.0	40.4	-0.6	40.8	-0.2	40.7	-0.3	41.4	0.3
10	44.2	44.1	-0.1	43.8	-0.3	44.0	-0.1	44.0	-0.2	44.4	0.2
12	46.9	46.7	-0.2	46.8	-0.1	46.7	-0.1	46.7	-0.1	46.9	0.0
14	48.3	48.8	0.5	49.3	1.0	49.0	0.7	49.1	0.8	49.1	0.8
16	50.5	50.6	0.2	51.3	0.8	50.9	0.4	51.0	0.5	50.9	0.4
18	52.6	52.2	-0.4	53.0	0.4	52.5	-0.1	52.6	0.0	52.4	-0.2
20	52.8	53.5	0.7	54.3	1.5	53.8	1.0	53.9	1.1	53.7	1.0
22	54.1	54.6	0.5	55.3	1.2	54.9	0.8	55.0	0.9	54.9	0.7
24	56.1	55.5	-0.6	56.1	0.0	55.8	-0.4	55.9	-0.3	55.8	-0.3
26	55.4	56.3	1.0	56.8	1.4	56.5	1.2	56.6	1.3	56.6	1.3
28	57.0	57.0	0.0	57.3	0.3	57.1	0.1	57.2	0.2	57.3	0.3
30	57.0	57.6	0.5	57.7	0.6	57.6	0.6	57.7	0.6	57.9	0.8
32	56.9	58.1	1.2	57.9	1.0	58.1	1.1	58.0	1.1	58.4	1.5
34	57.7	58.5	0.8	58.2	0.5	58.4	0.7	58.3	0.7	58.8	1.1
36	58.5	58.8	0.4	58.3	-0.1	58.7	0.2	58.6	0.1	59.2	0.7
38	58.5	59.1	0.7	58.5	0.0	58.9	0.4	58.8	0.3	59.5	1.0
40	58.3	59.4	1.1	58.6	0.2	59.1	0.8	59.0	0.6	59.8	1.4
42	57.5	59.6	2.1	58.7	1.1	59.3	1.7	59.1	1.6	60.0	2.5
44	58.7	59.8	1.1	58.7	0.0	59.4	0.7	59.2	0.5	60.2	1.5
46	58.4	60.0	1.5	58.8	0.3	59.5	1.0	59.3	0.8	60.4	1.9
48	60.3	60.1	-0.2	58.8	-1.5	59.6	-0.7	59.4	-0.9	60.5	0.2
50	59.1	60.2	1.1	58.8	-0.3	59.6	0.5	59.4	0.3	60.7	1.5
52	58.6	60.3	1.7	58.8	0.3	59.7	1.1	59.5	0.9	60.8	2.2
54	59.7	60.4	0.6	58.9	-0.9	59.8	0.0	59.5	-0.3	60.9	1.1
56	59.5	60.5	1.0	58.9	-0.6	59.8	0.3	59.5	0.0	61.0	1.5
58	59.9	60.5	0.7	58.9	-1.0	59.8	0.0	59.5	-0.3	61.0	1.2
60	61.6	60.6	-1.0	58.9	-2.7	59.9	-1.7	59.6	-2.0	61.1	-0.5
62	60.8	60.6	-0.2	58.9	-1.9	59.9	-1.0	59.6	-1.2	61.2	0.3
64	60.7	60.7	-0.1	58.9	-1.8	59.9	-0.8	59.6	-1.1	61.2	0.5
66	59.9	60.7	0.8	58.9	-1.0	59.9	0.0	59.6	-0.3	61.2	1.3
68	61.2	60.7	-0.4	58.9	-2.3	59.9	-1.2	59.6	-1.5	61.3	0.1
70	60.2	60.7	0.5	58.9	-1.3	59.9	-0.3	59.6	-0.6	61.3	1.1
72	61.4	60.8	-0.6	58.9	-2.5	59.9	-1.4	59.6	-1.7	61.4	0.0

附表7-10. 胸囲における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差 (データセットB)

		胸囲									
月齢	実測値	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	80.9	78.4	-2.5	86.1	5.2	81.4	0.5	82.7	1.8	77.5	-3.4
2	101.4	101.0	-0.4	101.5	0.1	100.9	-0.6	100.9	-0.5	101.9	0.5
4	119.6	119.8	0.3	117.2	-2.3	118.6	-0.9	118.2	-1.4	120.8	1.3
6	135.4	135.6	0.2	132.4	-3.0	134.4	-1.1	133.8	-1.6	136.4	0.9
8	149.3	148.8	-0.5	146.5	-2.8	148.0	-1.3	147.6	-1.7	149.3	0.0
10	160.0	159.9	-0.1	159.0	-1.0	159.7	-0.4	159.5	-0.5	160.1	0.1
12	169.4	169.2	-0.2	169.8	0.4	169.5	0.1	169.6	0.2	169.2	-0.1
14	173.6	177.0	3.4	178.8	5.2	177.7	4.1	178.0	4.4	176.9	3.3
16	182.0	183.6	1.6	186.1	4.1	184.5	2.5	185.0	2.9	183.4	1.4
18	190.8	189.1	-1.7	192.0	1.2	190.2	-0.6	190.7	-0.1	188.9	-1.9
20	193.4	193.8	0.4	196.7	3.3	194.9	1.5	195.4	2.0	193.6	0.2
22	199.3	197.7	-1.7	200.4	1.0	198.7	-0.6	199.2	-0.2	197.5	-1.8
24	204.3	201.0	-3.3	203.2	-1.1	201.9	-2.5	202.3	-2.1	200.9	-3.4
26	196.0	203.8	7.7	205.4	9.3	204.4	8.4	204.7	8.7	203.8	7.8
28	198.9	206.1	7.3	207.1	8.2	206.6	7.7	206.7	7.9	206.3	7.4
30	204.9	208.1	3.2	208.4	3.4	208.3	3.4	208.4	3.4	208.4	3.5
32	202.6	209.8	7.2	209.4	6.7	209.7	7.1	209.7	7.0	210.2	7.6
34	203.5	211.2	7.7	210.1	6.6	210.9	7.4	210.7	7.2	211.8	8.3
36	210.9	212.4	1.6	210.7	-0.2	211.8	1.0	211.6	0.7	213.2	2.3
38	204.8	213.4	8.6	211.1	6.3	212.6	7.8	212.2	7.4	214.3	9.5
40	203.4	214.3	10.9	211.5	8.1	213.3	9.9	212.8	9.4	215.4	11.9
42	210.5	215.0	4.5	211.7	1.2	213.8	3.3	213.2	2.7	216.2	5.7
44	205.7	215.7	9.9	211.9	6.2	214.2	8.5	213.6	7.8	217.0	11.3
46	208.7	216.2	7.5	212.1	3.4	214.6	5.9	213.9	5.2	217.7	9.0
48	216.9	216.6	-0.3	212.2	-4.7	214.9	-2.0	214.1	-2.8	218.3	1.4
50	212.6	217.0	4.4	212.3	-0.4	215.1	2.5	214.3	1.6	218.8	6.2
52	210.6	217.3	6.7	212.3	1.7	215.3	4.7	214.4	3.8	219.3	8.6
54	213.3	217.6	4.4	212.4	-0.9	215.5	2.2	214.6	1.3	219.7	6.4
56	212.1	217.9	5.8	212.4	0.4	215.6	3.5	214.7	2.6	220.0	8.0
58	211.5	218.1	6.6	212.5	1.0	215.7	4.2	214.7	3.3	220.3	8.9
60	222.8	218.2	-4.6	212.5	-10.4	215.8	-7.1	214.8	-8.0	220.6	-2.2
62	218.7	218.4	-0.3	212.5	-6.2	215.9	-2.8	214.8	-3.8	220.9	2.2
64	219.5	218.5	-1.0	212.5	-6.9	215.9	-3.5	214.9	-4.6	221.1	1.6
66	216.1	218.6	2.5	212.5	-3.6	216.0	-0.1	214.9	-1.2	221.3	5.2
68	214.9	218.7	3.8	212.5	-2.4	216.0	1.1	215.0	0.0	221.4	6.5
70	213.8	218.8	5.0	212.6	-1.2	216.1	2.3	215.0	1.2	221.6	7.8
72	226.2	218.8	-7.4	212.6	-13.7	216.1	-10.1	215.0	-11.2	221.7	-4.5

附表7-11. 体重における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差 (データセットC)

		体重									
月齢	実測値	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	44.8	-1.2	-46.0	85.4	40.6	43.5	-1.3	57.1	12.2	40.2	-4.6
2	91.9	83.9	-8.0	114.7	22.9	91.7	-0.2	95.4	3.5	88.5	-3.3
4	148.6	159.6	10.9	152.1	3.4	149.7	1.1	144.7	-4.0	144.8	-3.8
6	214.4	227.4	12.9	197.7	-16.7	209.9	-4.5	201.8	-12.6	206.8	-7.6
8	268.6	288.3	19.6	251.1	-17.5	269.3	0.7	263.0	-5.7	269.8	1.2
10	324.4	343.1	18.7	310.1	-14.3	330.9	6.4	324.6	0.2	326.1	1.7
12	376.1	392.5	16.4	371.7	-4.4	388.0	11.9	383.9	7.7	379.3	3.2
14	434.3	437.2	2.9	432.2	-2.1	440.1	5.8	438.7	4.4	428.2	-6.1
16	486.0	477.6	-8.4	488.4	2.3	486.8	0.8	488.1	2.1	472.7	-13.3
18	526.1	514.1	-12.0	537.9	11.9	528.1	2.0	531.6	5.5	512.8	-13.3
20	591.5	547.1	-44.4	579.9	-11.7	564.2	-27.3	569.2	-22.3	548.6	-43.0
22	650.6	577.1	-73.5	614.2	-36.5	595.6	-55.0	601.3	-49.3	580.5	-70.2
24	668.3	604.2	-64.1	641.5	-26.8	622.7	-45.6	628.5	-39.8	608.7	-59.6
26	661.8	628.9	-32.9	662.7	0.9	646.0	-15.8	651.2	-10.6	633.7	-28.1
28	663.7	651.2	-12.5	679.0	15.3	665.9	2.2	670.1	6.4	655.8	-7.9
30	665.6	671.5	5.9	691.4	25.8	682.9	17.3	685.8	20.2	675.3	9.6
32	693.1	690.0	-3.1	700.7	7.6	697.4	4.3	698.7	5.7	692.4	-0.7
34	716.8	706.8	-10.0	707.7	-9.1	709.7	-7.2	709.4	-7.4	707.5	-9.4
36	725.0	722.1	-2.9	712.9	-12.1	720.2	-4.8	718.2	-6.8	720.8	-4.2
38	755.1	736.0	-19.1	716.8	-38.3	729.0	-26.1	725.4	-29.8	732.5	-22.6
40	747.2	748.7	1.4	719.6	-27.6	736.6	-10.7	731.3	-16.0	742.8	-4.5
42	747.2	760.2	13.0	721.8	-25.4	743.0	-4.2	736.1	-11.1	751.9	4.7
44	748.6	770.7	22.2	723.4	-25.2	748.4	-0.2	740.0	-8.5	759.9	11.3
46	759.2	780.4	21.2	724.6	-34.6	753.0	-6.2	743.3	-15.9	767.0	7.8
48	761.3	789.2	27.8	725.4	-35.9	756.9	-4.5	745.9	-15.4	773.3	11.9
50	798.8	797.2	-1.7	726.1	-72.8	760.2	-38.7	748.1	-50.7	778.8	-20.0
52	800.4	804.5	4.1	726.6	-73.8	763.0	-37.4	749.9	-50.5	783.7	-16.6
54	791.3	811.2	19.9	727.0	-64.3	765.4	-25.9	751.3	-40.0	788.1	-3.2
56	826.6	817.4	-9.2	727.2	-99.4	767.4	-59.2	752.5	-74.0	792.0	-34.6
58	801.7	823.0	21.3	727.4	-74.3	769.1	-32.6	753.5	-48.2	795.4	-6.3
60	805.6	828.2	22.6	727.6	-78.0	770.6	-35.0	754.3	-51.2	798.5	-7.1

附表7-12. 体高における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差 (データセットC)

		体高									
月齢	実測値	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	77.8	77.7	-0.1	80.4	2.6	78.7	0.9	79.2	1.4	76.7	-1.0
2	92.0	91.8	-0.2	91.5	-0.5	91.6	-0.4	91.6	-0.5	92.2	0.2
4	103.8	103.3	-0.5	101.9	-1.9	102.8	-1.0	102.5	-1.3	104.0	0.2
6	113.2	112.7	-0.5	111.3	-1.9	112.2	-1.0	112.0	-1.2	113.3	0.1
8	120.6	120.3	-0.4	119.5	-1.2	120.0	-0.6	119.9	-0.7	120.7	0.1
10	126.5	126.5	0.0	126.3	-0.1	126.5	0.0	126.5	0.0	126.8	0.3
12	131.3	131.6	0.2	132.0	0.6	131.7	0.4	131.8	0.5	131.7	0.4
14	135.3	135.7	0.4	136.5	1.2	136.0	0.7	136.1	0.9	135.8	0.5
16	139.0	139.1	0.1	140.1	1.1	139.4	0.4	139.6	0.6	139.1	0.1
18	141.7	141.8	0.1	142.8	1.1	142.2	0.4	142.4	0.6	141.8	0.1
20	142.0	144.1	2.1	145.0	3.0	144.4	2.4	144.6	2.6	144.1	2.1
22	144.4	146.2	1.8	146.6	2.2	145.9	1.5	146.3	1.9	146.0	1.6
24	147.6	147.6	0.0	147.9	0.3	147.4	-0.2	147.7	0.1	147.5	-0.1
26	146.2	148.6	2.4	148.8	2.6	148.7	2.5	148.8	2.5	148.8	2.5
28	147.6	149.6	2.0	149.5	1.9	149.6	2.0	149.6	2.0	149.8	2.2
30	150.5	150.3	0.0	150.1	-0.4	150.5	-0.1	150.3	-0.2	150.7	0.2
32	149.3	150.9	1.9	150.5	1.2	151.1	1.7	150.8	1.6	151.4	2.2
34	149.6	151.4	2.1	150.8	1.2	151.7	1.8	151.2	1.7	152.1	2.5
36	152.4	151.6	-0.2	151.0	-1.4	152.1	-0.7	151.6	-0.8	152.6	0.2
38	151.0	152.5	1.6	151.2	0.2	152.0	1.1	151.8	0.8	153.0	2.0
40	151.3	152.8	1.5	151.3	0.0	152.3	1.0	152.0	0.7	153.4	2.1
42	151.1	153.1	2.0	151.4	0.4	152.5	1.4	152.2	1.1	153.7	2.6
44	150.2	153.3	3.1	151.5	1.3	152.6	2.4	152.3	2.1	153.9	3.7
46	152.1	153.5	1.3	151.6	-0.6	152.7	0.6	152.4	0.3	154.1	2.0
48	153.8	153.6	-0.2	151.6	-2.2	152.8	-1.0	152.5	-1.3	154.3	0.5
50	151.7	153.7	2.0	151.6	-0.1	152.9	1.2	152.5	0.8	154.5	2.7
52	151.5	153.8	2.3	151.7	0.2	153.0	1.5	152.6	1.1	154.6	3.1
54	152.5	153.9	1.4	151.7	-0.8	153.0	0.5	152.6	0.1	154.7	2.2
56	149.8	153.9	4.1	151.7	1.9	153.0	3.2	152.7	2.9	154.8	5.0
58	150.4	154.0	3.6	151.7	1.3	153.1	2.7	152.7	2.3	154.9	4.5
60	153.9	154.0	0.1	151.7	-2.2	153.1	-0.8	152.7	-1.2	154.9	1.0

附表7-13. 腰角幅における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差(データセットC)

		腰角幅									
月齢	実測値	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	16.7	16.3	-0.4	18.7	2.0	17.2	0.5	17.6	0.9	15.9	-0.8
2	22.2	22.1	-0.1	22.4	0.3	22.1	-0.1	22.1	-0.1	22.1	-0.1
4	27.2	27.1	0.0	26.4	-0.8	26.7	-0.4	26.6	-0.6	27.2	0.0
6	31.9	31.5	-0.4	30.4	-1.5	31.1	-0.8	30.9	-1.1	31.6	-0.3
8	35.4	35.4	0.0	34.3	-1.1	35.0	-0.4	34.8	-0.6	35.4	0.0
10	38.6	38.7	0.1	38.1	-0.5	38.5	0.0	38.4	-0.1	38.7	0.2
12	41.4	41.6	0.2	41.5	0.1	41.6	0.2	41.6	0.2	41.6	0.2
14	43.2	44.1	0.9	44.5	1.2	44.3	1.1	44.4	1.1	44.2	0.9
16	45.3	46.3	1.0	47.1	1.7	46.6	1.3	46.8	1.4	46.4	1.0
18	48.0	48.2	0.3	49.2	1.3	48.6	0.7	48.8	0.8	48.3	0.3
20	49.6	49.9	0.4	51.0	1.4	50.3	0.8	50.5	1.0	50.0	0.4
22	51.5	51.4	-0.2	52.4	0.9	51.8	0.3	52.0	0.4	51.4	-0.1
24	53.7	52.7	-1.1	53.6	-0.1	53.0	-0.7	53.2	-0.5	52.7	-1.0
26	53.1	53.8	0.7	54.5	1.4	54.1	1.0	54.2	1.1	53.8	0.7
28	53.5	54.7	1.2	55.2	1.7	54.9	1.4	55.0	1.5	54.8	1.3
30	55.4	55.6	0.2	55.7	0.3	55.7	0.3	55.7	0.3	55.6	0.2
32	55.5	56.3	0.8	56.2	0.7	56.3	0.8	56.3	0.8	56.4	0.9
34	56.4	57.0	0.6	56.5	0.2	56.8	0.5	56.8	0.4	57.0	0.7
36	57.5	57.6	0.1	56.8	-0.7	57.3	-0.2	57.1	-0.4	57.6	0.1
38	57.3	58.1	0.7	57.0	-0.4	57.6	0.3	57.5	0.1	58.1	0.8
40	58.2	58.5	0.3	57.1	-1.1	58.0	-0.2	57.7	-0.5	58.6	0.4
42	57.7	58.9	1.1	57.3	-0.5	58.2	0.5	57.9	0.2	59.0	1.3
44	58.2	59.2	1.0	57.3	-0.8	58.4	0.3	58.1	-0.1	59.3	1.2
46	59.4	59.5	0.1	57.4	-2.0	58.6	-0.8	58.3	-1.1	59.6	0.3
48	59.3	59.8	0.4	57.5	-1.9	58.8	-0.6	58.4	-1.0	59.9	0.6
50	59.3	60.0	0.6	57.5	-1.8	58.9	-0.4	58.5	-0.8	60.2	0.8
52	60.2	60.2	0.0	57.5	-2.7	59.0	-1.2	58.6	-1.6	60.4	0.2
54	58.9	60.4	1.4	57.6	-1.4	59.1	0.2	58.6	-0.3	60.6	1.6
56	60.7	60.5	-0.2	57.6	-3.1	59.2	-1.5	58.7	-2.0	60.8	0.1
58	60.3	60.6	0.3	57.6	-2.7	59.3	-1.0	58.7	-1.6	60.9	0.6
60	59.7	60.8	1.0	57.6	-2.1	59.3	-0.4	58.8	-0.9	61.1	1.3

附表7-14. 尻長における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差 (データセットC)

月齢 実測値		尻長									
		Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	23.4	23.4	0.0	25.0	1.6	24.0	0.6	24.3	0.9	22.9	-0.5
2	29.9	29.3	-0.6	29.3	-0.7	29.2	-0.7	29.2	-0.7	29.4	-0.5
4	34.3	34.2	-0.1	33.5	-0.8	33.9	-0.4	33.8	-0.5	34.5	0.2
6	38.3	38.4	0.1	37.5	-0.8	38.1	-0.2	37.9	-0.4	38.7	0.4
8	41.7	41.9	0.2	41.3	-0.4	41.7	0.0	41.6	-0.1	42.2	0.5
10	44.8	44.9	0.1	44.7	-0.2	44.9	0.0	44.8	0.0	45.1	0.3
12	47.3	47.5	0.2	47.6	0.3	47.5	0.3	47.6	0.3	47.6	0.3
14	48.4	49.6	1.2	50.0	1.6	49.8	1.4	49.8	1.4	49.7	1.3
16	50.2	51.4	1.2	52.0	1.9	51.6	1.5	51.8	1.6	51.5	1.3
18	52.9	52.9	0.0	53.7	0.8	53.2	0.3	53.3	0.4	53.0	0.1
20	54.3	54.2	0.0	55.0	0.7	54.5	0.2	54.6	0.4	54.3	0.1
22	55.8	55.3	-0.4	56.0	0.2	55.6	-0.2	55.7	-0.1	55.5	-0.3
24	57.1	56.3	-0.8	56.8	-0.3	56.5	-0.6	56.6	-0.5	56.4	-0.7
26	55.7	57.1	1.4	57.4	1.7	57.2	1.5	57.3	1.6	57.2	1.5
28	56.1	57.7	1.7	57.9	1.8	57.8	1.7	57.9	1.8	57.9	1.8
30	58.1	58.3	0.2	58.3	0.2	58.3	0.2	58.3	0.2	58.5	0.5
32	57.4	58.7	1.4	58.6	1.1	58.8	1.3	58.7	1.3	59.1	1.6
34	57.5	59.1	1.7	58.8	1.2	59.2	1.5	59.0	1.5	59.5	2.0
36	59.5	59.4	0.0	59.0	-0.5	59.5	-0.1	59.3	-0.2	59.9	0.4
38	58.5	59.9	1.4	59.1	0.6	59.6	1.1	59.5	1.0	60.3	1.8
40	58.5	60.1	1.6	59.2	0.7	59.8	1.2	59.6	1.1	60.6	2.0
42	57.3	60.4	3.0	59.3	1.9	59.9	2.6	59.7	2.4	60.8	3.5
44	58.8	60.5	1.7	59.3	0.5	60.1	1.2	59.9	1.0	61.1	2.2
46	60.2	60.7	0.5	59.4	-0.9	60.2	-0.1	59.9	-0.3	61.3	1.0
48	60.7	60.8	0.2	59.4	-1.3	60.3	-0.4	60.0	-0.7	61.4	0.8
50	60.1	60.9	0.8	59.4	-0.7	60.3	0.2	60.1	0.0	61.6	1.5
52	58.2	61.0	2.9	59.4	1.3	60.4	2.2	60.1	1.9	61.7	3.6
54	58.6	61.1	2.5	59.5	0.8	60.4	1.8	60.1	1.5	61.8	3.2
56	59.2	61.2	2.0	59.5	0.3	60.5	1.3	60.2	1.0	61.9	2.7
58	58.2	61.3	3.1	59.5	1.3	60.5	2.3	60.2	2.0	62.0	3.8
60	60.4	61.3	0.9	59.5	-0.9	60.5	0.1	60.2	-0.2	62.1	1.7

附表7-15. 胸囲における実測平均値と各成長曲線モデルの推定値との差 (データセットC)

		胸囲									
月齢	実測値	Brody		Logistic		Von Bertalanffy		Gompertz		Richards	
		推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り	推定値	偏り
0	81.3	80.6	-0.7	87.5	6.2	83.2	1.9	84.4	3.1	80.2	-1.1
2	104.1	102.8	-1.3	103.0	-1.1	102.5	-1.5	102.5	-1.5	103.9	-0.2
4	122.4	121.5	-0.9	118.7	-3.7	120.2	-2.2	119.7	-2.7	122.7	0.2
6	137.6	137.3	-0.3	133.9	-3.7	136.0	-1.6	135.4	-2.2	138.2	0.6
8	150.3	150.6	0.3	148.1	-2.2	149.8	-0.5	149.3	-0.9	151.3	1.0
10	161.3	161.8	0.5	160.8	-0.5	161.6	0.2	161.4	0.1	162.3	1.0
12	170.5	171.3	0.9	171.8	1.3	171.6	1.1	171.7	1.2	171.7	1.2
14	176.4	179.3	2.9	181.0	4.6	180.0	3.6	180.3	3.9	179.6	3.2
16	183.4	186.1	2.7	188.6	5.2	187.1	3.7	187.5	4.1	186.3	2.9
18	191.7	191.9	0.1	194.7	3.0	192.9	1.2	193.4	1.7	192.1	0.3
20	193.5	196.7	3.3	199.6	6.1	197.8	4.3	198.3	4.8	197.0	3.5
22	199.7	200.9	1.1	203.4	3.7	201.8	2.1	202.3	2.6	201.2	1.5
24	208.0	204.4	-3.7	206.4	-1.7	205.2	-2.9	205.5	-2.5	204.8	-3.2
26	195.8	207.3	11.5	208.7	12.9	207.9	12.1	208.1	12.3	207.9	12.1
28	198.8	209.8	11.0	210.4	11.6	210.1	11.3	210.3	11.4	210.5	11.7
30	209.6	212.0	2.4	211.8	2.2	212.0	2.4	212.0	2.4	212.8	3.3
32	200.9	213.8	12.9	212.9	12.0	213.5	12.6	213.4	12.5	214.8	14.0
34	203.1	215.3	12.2	213.7	10.6	214.8	11.7	214.5	11.4	216.6	13.5
36	216.5	216.6	0.1	214.3	-2.2	215.8	-0.7	215.4	-1.1	218.1	1.5
38	204.2	217.8	13.6	214.7	10.5	216.6	12.4	216.1	11.9	219.4	15.2
40	207.1	218.7	11.6	215.1	8.0	217.3	10.3	216.7	9.6	220.5	13.4
42	209.1	219.5	10.5	215.4	6.3	217.9	8.9	217.2	8.1	221.5	12.4
44	206.6	220.2	13.6	215.6	9.0	218.4	11.8	217.6	11.0	222.4	15.7
46	211.0	220.8	9.8	215.7	4.8	218.8	7.8	217.9	6.9	223.1	12.2
48	221.8	221.3	-0.4	215.9	-5.9	219.1	-2.7	218.1	-3.6	223.8	2.0
50	208.9	221.7	12.8	216.0	7.0	219.4	10.4	218.4	9.4	224.4	15.5
52	213.6	222.1	8.5	216.0	2.4	219.6	6.0	218.5	4.9	224.9	11.3
54	214.5	222.4	7.9	216.1	1.6	219.7	5.2	218.7	4.2	225.4	10.9
56	208.3	222.7	14.4	216.1	7.8	219.9	11.6	218.8	10.4	225.8	17.5
58	211.8	222.9	11.2	216.2	4.4	220.0	8.3	218.9	7.1	226.2	14.4
60	226.0	223.1	-2.8	216.2	-9.8	220.1	-5.8	218.9	-7.0	226.5	0.5

第8章 変量回帰モデルを使用した成長形質の遺伝的パラメータと育種価の推定

1. はじめに

ホルスタイン雌牛における近年の大型化の傾向は、第6章の結果から明らかになった。これまで述べてきたように、体格の大型化は飼養管理の困難さや肢蹄病の増発が懸念され、結果的に早期淘汰のリスクとなる。成長形質の遺伝的改良は、こうした状況を抑制するための直接的なアプローチであり検討価値があるだろう。本章では、成長(測尺)データを利用して遺伝率および育種価を推定し、その遺伝的傾向を明らかにすることを目的にした。

2. 材料および方法

(1) データ

本章で利用したデータは、第5章において成長曲線モデルの検討データと同様に、全国の試験場や一部農場で収集された測尺記録であった。本分析では、10ヵ月齢以下および30ヵ月齢以上に記録を有し、かつ60ヵ月齢までに3記録以上を有する個体を抽出した。血縁データは日本ホルスタイン登録協会が集積した血統記録を利用した。分析の対象とした形質は、体重(実測値)、体高、腰角幅、尻長ならびに胸囲の5形質であった。表8-1には分析データの概要を示した。

表8-1. 分析データの概要

項目	体重	体高	腰角幅	尻長	胸囲
総記録数	124,996	73,551	61,699	61,764	67,152
記録を有する個体数	4,185	4,139	4,524	4,525	4,707
1頭あたりの平均記録数	29.9	17.8	13.6	13.6	14.3
血縁個体数	10,354	10,397	10,702	10,706	11,083
牛群数	8	12	9	9	12
牛群・誕生年の水準数	641	722	670	671	793

(2) 統計モデル

成長形質の遺伝的パラメータは、下記の単形質の変量回帰アニマルモデルで推定した。

$$y_{ijlt} = HYM_i + M_j + \sum_{k=0}^4 \phi(t)_{lk} b_k + \sum_{k=0}^2 \phi(t)_{lk} u_{lk} + \sum_{k=0}^2 \phi(t)_{lk} p_{lk} + e_{ijlt}$$

ここで y_{ijlt} は観測値、 HYM_i は牛群・誕生年月の母数効果、 M_j は誕生月の母数効果、 b_k は k 次の母数回帰係数、 u_{jk} は個体 l における k 次の相加的遺伝効果の変量回帰係数、 p_{jk} は個体 l における k 次の永続的環境効果の変量回帰係数、 e_{ijlt} は残差である。 $\phi(t)$ は個体 l における月齢 t の k 次のルジャンドル多項式である。母数および変量回帰係数には、4次および2次までのルジャンドル多項式をそれぞれ考慮した。上記モデルを行列式で示すと下記の通りである。

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{b} + \mathbf{Z}_1\mathbf{u} + \mathbf{Z}_2\mathbf{p} + \mathbf{e}$$

\mathbf{y} は観測値のベクトル、 \mathbf{X} 、 \mathbf{Z}_1 および \mathbf{Z}_2 は計画行列、 \mathbf{b} は母数効果のベクトル、 \mathbf{u} は相加的遺伝効果のベクトル、 \mathbf{p} は永続的環境効果のベクトル、 \mathbf{e} は残差のベクトルである。分散共分散行列は、

$$\text{var} \begin{bmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{p} \\ \mathbf{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_g \otimes \mathbf{A} & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{V}_p \otimes \mathbf{I} & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{R} \otimes \mathbf{I} \end{bmatrix}$$

ここで \mathbf{A} は分子血縁行列、 \mathbf{I} は単位行列、 \mathbf{R} は測尺月齢の6区分(0~10、11~20、21~30、31~40、41~50、51~60カ月齢)において非一様な残差分散の対角行列、 \mathbf{V}_g および \mathbf{V}_p は 3×3 の相加的遺伝分散および永続的環境分散共分散行列、 \otimes はクロネッカー積である。月齢 i における相加的遺伝および永続的環境効果の分散(v_g^i および v_p^i)は以下の式によりそれぞれ算出した(Mrode 2014)。

$$v_g^i = \mathbf{t}_i \mathbf{V}_g \mathbf{t}_i', \quad v_p^i = \mathbf{t}_i \mathbf{V}_p \mathbf{t}_i'$$

ここで、 $\mathbf{t}_i = \phi_{ik}$ であり、これは行列 $\Phi(3 \times 61)$ における月齢 i の行ベクトルである。また特定の月齢 i と j 間の遺伝相関は以下の式で計算した。

$$rg_{ij} = \frac{\mathbf{t}_i \mathbf{V}_g \mathbf{t}_j'}{\sqrt{\mathbf{t}_i \mathbf{V}_g \mathbf{t}_i' * \mathbf{t}_j \mathbf{V}_g \mathbf{t}_j'}}$$

遺伝的パラメータの推定には、GIBBS3F90プログラムで行った(Misztalら2002)。反復回数およびburn-inはそれぞれ100,000回および50,000回と設定し、burn-in後の50,000サンプルから10反復ごとに得た5,000サンプルを事後推定値を得るために利用した。

さらに前述のモデルを当てはめ、推定育種価(EBV)を推定した。本分析では月齢にわたる総合育種価を推定したが、各個体のそれは $1'\Phi\hat{u}$ によって計算した。得られたEBVに基づき、遺伝的トレンドおよび経済形質との関連性を調査した。経済形質との関連性の調査では、家畜改良センターが2019年8月に公表した種雄牛のEBVを利用して相関係数を推定した。

3. 結果

図8-1には月齢に伴う遺伝的パラメータの推定結果を示した。全ての形質において、遺伝分散は月齢が進むほど増加傾向を示した。月齢グループ間における残差分散変動は体重で最も大きく、0~10カ月齢の172から51~60カ月齢の4,474まで増加した。体高、腰角幅および尻長では残差分散は月齢グループ間で横ばいの傾向があった。胸囲では、20~30カ月齢および51~60カ月齢において残差が大きく推定された。

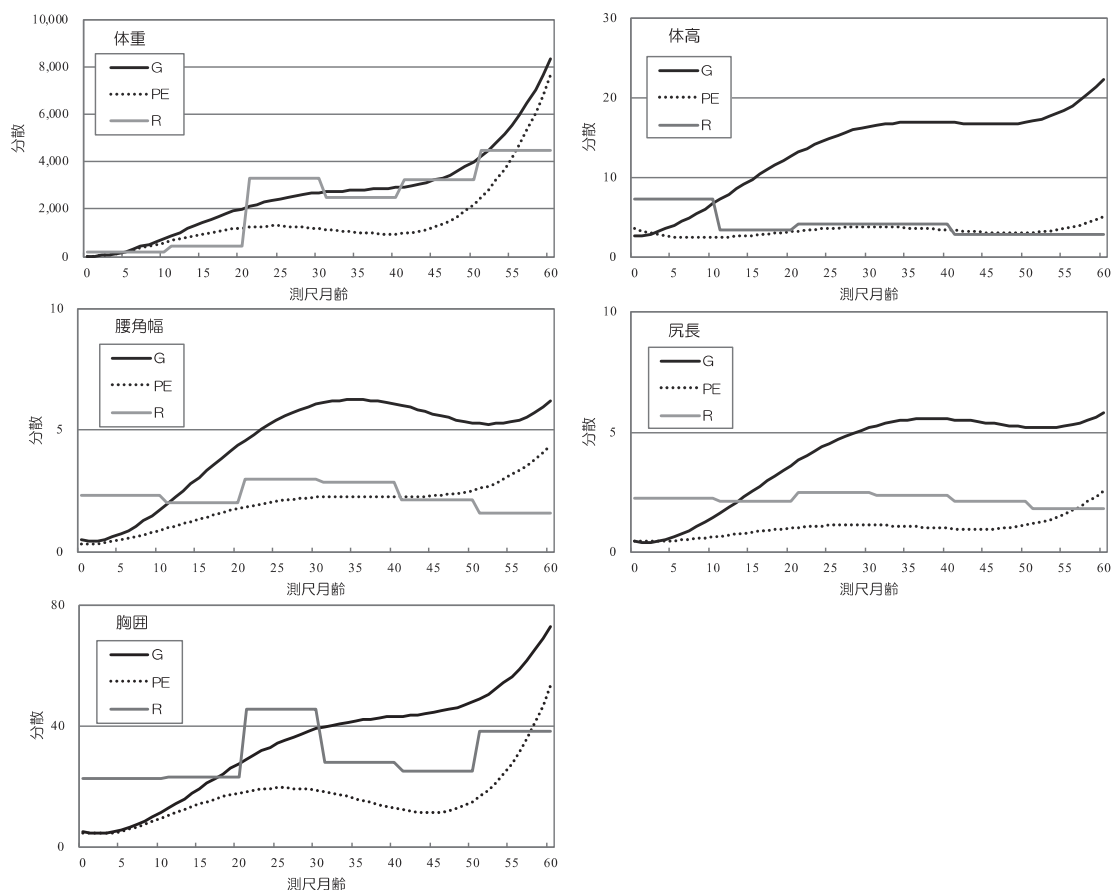


図 8-1. 成長形質の遺伝(G)、永続的環境(PE)および残差(R)分散の推移

図 8-2 には、月齢にわたる各形質の遺伝率の推移を示した。月齢に伴う各形質の遺伝率は、中から高程度であった。月齢にわたる平均遺伝率は、体重で 0.40、体高で 0.62、

腰角幅で0.47、尻長で0.51そして胸囲で0.39であった。いずれの形質においても、0カ月齢における遺伝率が低く20カ月齢まで上昇傾向を示し、それ以降の遺伝率は横ばい傾向にあった。月齢に伴う成長形質の遺伝率の上昇は、他の報告においても確認されている（Arango ら 2004; Riley ら 2007）。体重では、20カ月齢から21カ月齢にかけて遺伝率が大きく低下した。この要因として、本分析では分娩の影響を考慮していないために残差が増大したことが影響していると考えられる。したがって、分娩を考慮した統計モデルがより正確なパラメータを推定する上で重要である。

図 8-3 には、月齢にわたる反復率の推移を示した。反復率の推移は、遺伝率と同様の形状を示したが、その数値は全体的に遺伝率よりも高かった。Arango ら (2004)は肉牛の体重について変量回帰モデルを当てはめたが、反復率は一部の月齢のみで遺伝率よりも高く、本結果とは異なる結果を示していた。

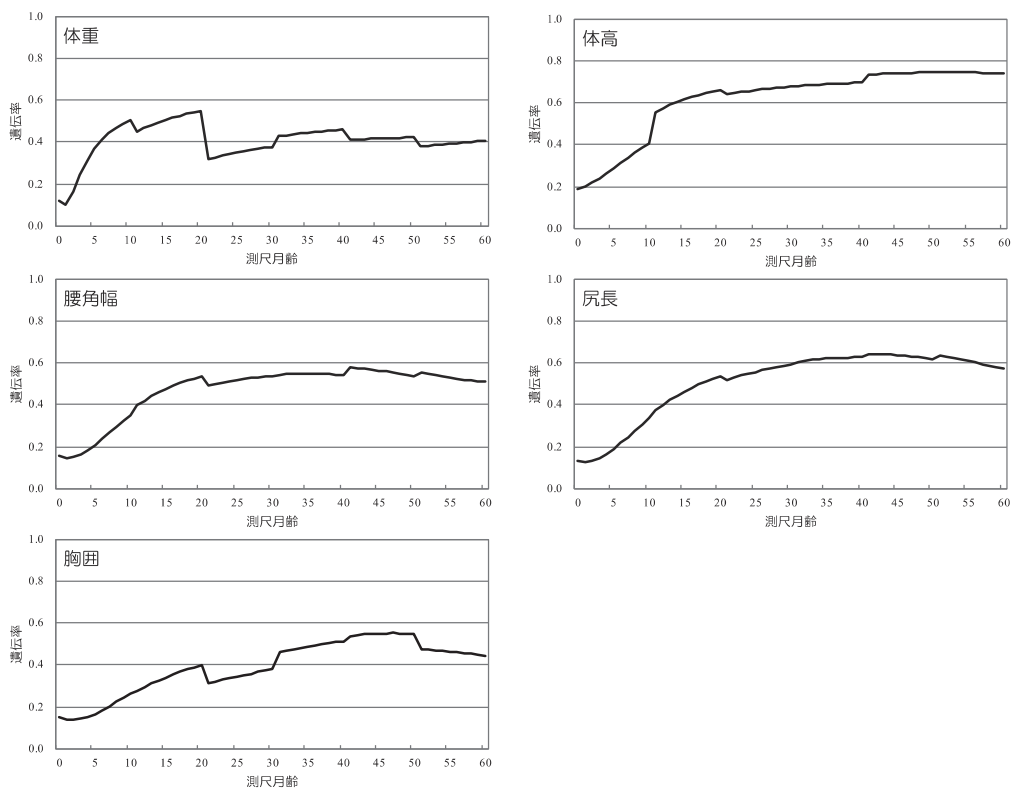


図 8-2. 成長形質の遺伝率の推定値

表 8-2 には月齢間の遺伝相関の推定値を示した。いずれの形質においても、0カ月齢とその他の月齢間の遺伝相関は極端に低く、その他の月齢間の遺伝相関と異なる傾向を示した。特に体重や胸囲では、負の遺伝相関が推定された(体重-0.05~-0.38; 胸囲0.31~-0.07)。これには生後間もない時点の記録に多くの環境要因が影響している可能性がある。それゆえ、それらの時点の測定記録の遺伝改良への利用には注意を払うべ

きである。その他の月齢間では、体重の一部の組み合わせを除いて正の遺伝相関が推定された。これは、ある程度発育した時点の成長記録を利用することにより、同一方向に遺伝改良を進めることが可能なことを示唆するものである。

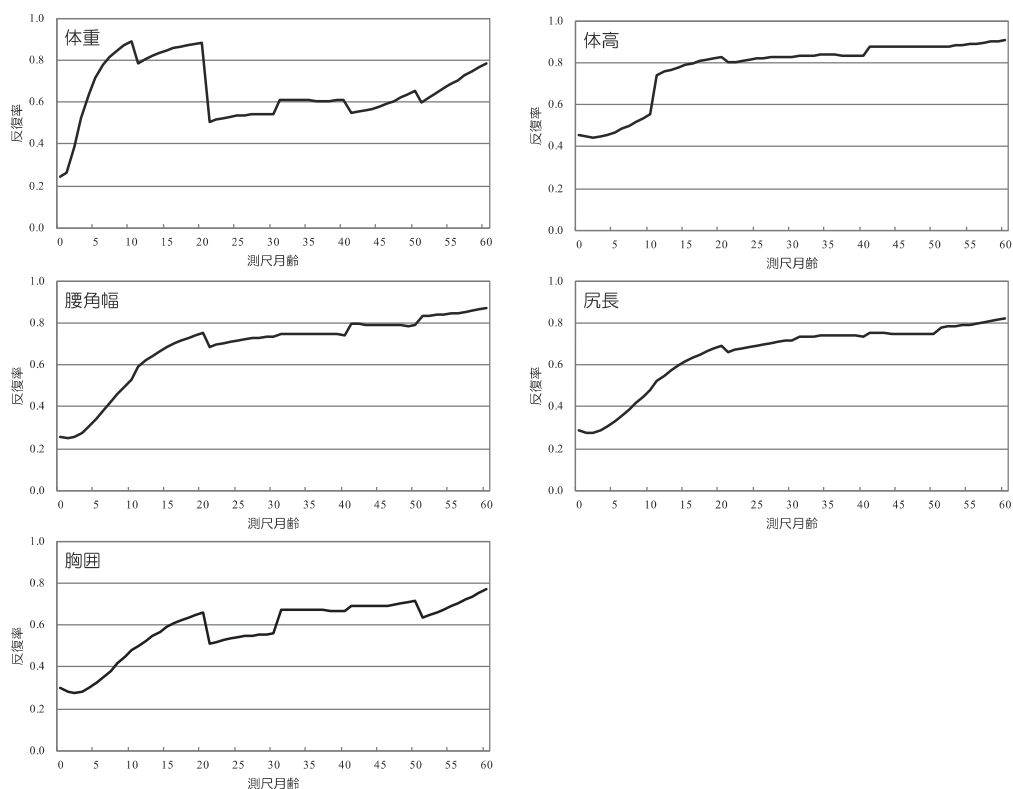


図8-3. 成長形質の反復率の推定値

4. 育種価および遺伝的トレンド

図8-4には、娘牛1頭以上を有する国内種雄牛および測尺記録を有する雌牛についての標準化育種価の遺伝的トレンドをそれぞれ示した。雄牛および雌牛のいずれの形質においても、各形質のトレンドは緩やかに正の方向に改良傾向にあることが示された。すなわち、近年の個体は遺伝的にも大型化が進んでいることが明らかになった。この傾向は、体のサイズに関わる高さや胸の幅などの体型審査形質の傾向と一致していた(家畜改良センター 2019)。

表8-3には、成長記録を有する娘牛を1頭以上有する2010年以降に誕生した国内種雄牛について、成長形質と経済形質など17形質の育種価間の積率相関を示した。順位相関についても同様の傾向を示したことから、ここでは積率相関のみを示すこととする。成長形質は、体のサイズに関係する体型審査形質との間に有意な関係($p < 0.01$ または $p < 0.05$)が認められる傾向にあった。それゆえ、一部の体型審査形質は本分析で対象とした成長形質の間接的に改良を行う指標として利用できると推察される。いずれの

成長形質においても、総合指数、乳量ならびに体細胞スコアとの間に有意な相関は認められなかった。体高および腰角幅では長命連産効果と、さらに体高は空胎日数との間に好ましくない相関が存在した($p<0.05$)。この結果は体高や腰角幅などの形質を主とした大型化を抑制する遺伝的改良によって、在群性の間接的な改良に寄与することを示唆するものである。しかしながら、本分析で利用した記録は牛群検定や体型審査記録に比べて少なく、一部の国内種雄牛のみしか遺伝評価値を得ることができなかった。成長形質の遺伝的改良を行う上では今後さらなる検討が必要であろう。

表8-2. 成長形質における月齢間の遺伝相関

体重							体高						
月齢	10	20	30	40	50	60	月齢	10	20	30	40	50	60
0	-0.27	-0.35	-0.38	-0.35	-0.22	-0.05	0	0.70	0.53	0.47	0.44	0.39	0.27
10		0.99	0.93	0.73	0.29	-0.17	10		0.97	0.94	0.87	0.67	0.30
20			0.97	0.82	0.42	-0.03	20			0.99	0.93	0.74	0.35
30				0.93	0.61	0.19	30				0.97	0.83	0.47
40					0.86	0.54	40					0.93	0.65
50						0.89	50						0.88

腰角幅							尻長						
月齢	10	20	30	40	50	60	月齢	10	20	30	40	50	60
0	0.25	0.06	0.03	0.07	0.19	0.35	0	0.30	0.09	0.04	0.04	0.10	0.19
10		0.98	0.96	0.92	0.76	0.34	10		0.97	0.95	0.90	0.76	0.41
20			0.99	0.95	0.79	0.34	20			0.99	0.95	0.81	0.46
30				0.98	0.85	0.42	30				0.98	0.87	0.55
40					0.93	0.59	40					0.95	0.69
50						0.84	50						0.88

胸囲						
月齢	10	20	30	40	50	60
0	0.31	0.04	-0.05	-0.07	-0.04	0.02
10		0.96	0.90	0.79	0.54	0.14
20			0.98	0.90	0.66	0.25
30				0.96	0.78	0.41
40					0.92	0.63
50						0.89

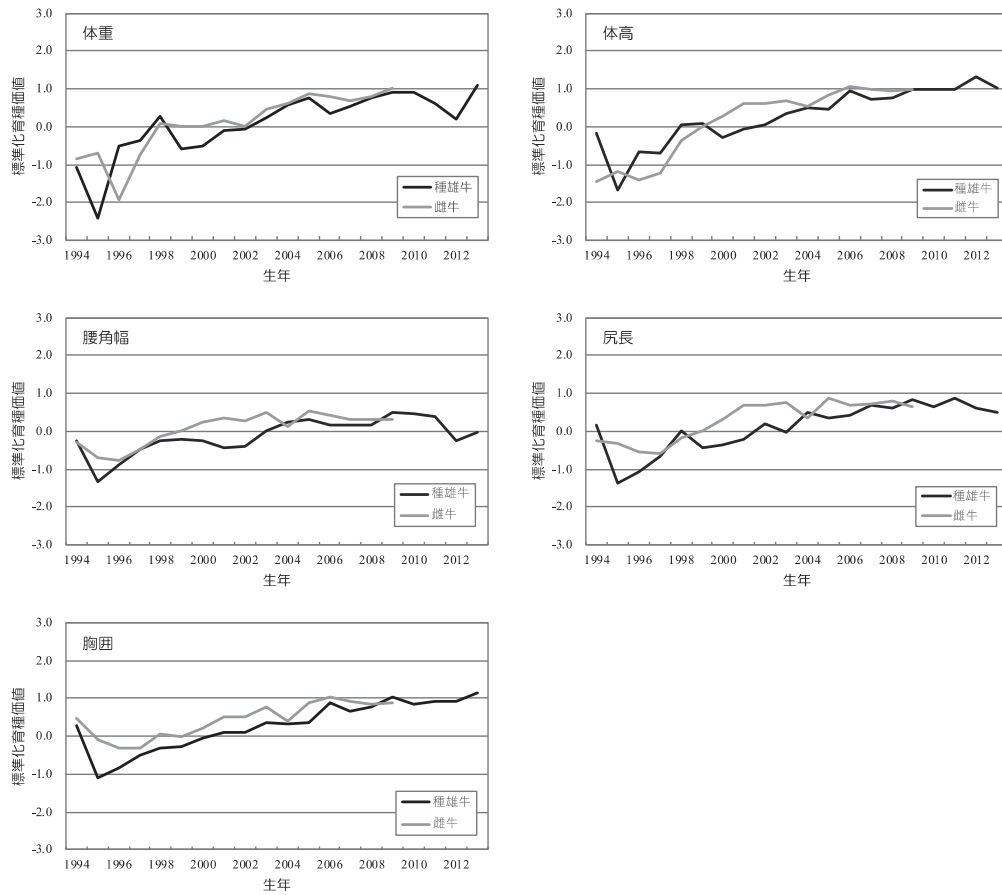


図8-4. 国内種雄牛および雌牛の遺伝的トレンド

表8-3. 娘牛を1頭以上有する国内種雄牛(体重 55頭, その他 53頭)の成長形質と総合指数など17形質の育種価間の積率相関

形質	総合指数	長命連産効果	乳量	SCS ¹	空胎日数	肢蹄	乳器	決定得点
体重	0.20	-0.01	0.19	-0.05	0.13	0.02	-0.05	0.01
体高	-0.02	-0.33 *	0.08	0.17	0.31 *	0.18	0.10	0.43 **
腰角幅	-0.09	-0.32 *	0.21	0.13	0.20	-0.01	-0.11	-0.03
尻長	0.18	-0.14	0.15	-0.17	0.21	0.08	-0.20	-0.04
胸囲	0.25	-0.03	0.16	0.00	0.16	0.21	0.21	0.42 **

体貌と骨格	乳用強健性	高さ	胸の幅	体の深さ	鋭角性	尻の角度	坐骨幅	BCS ²
0.09	0.27 *	0.14	0.43 **	0.40 **	0.16	-0.37 **	0.34 *	0.09
0.52 **	0.64 **	0.65 **	0.34 *	0.33 *	0.67 **	0.07	0.15	-0.43 **
0.05	0.27	0.15	0.25	0.30 *	0.23	-0.39 **	0.24	-0.02
0.09	0.39 **	0.32 *	0.23	0.26	0.37 **	-0.19	0.02	-0.26
0.39 **	0.47 **	0.41 **	0.56 **	0.55 **	0.36 **	-0.20	0.53 **	0.00

¹SCS 体細胞スコア; ²BCS ボディコンディションスコア

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

5. 結論

本章で調査した5つの成長形質は遺伝率が高く、効率的に遺伝的改良が行える可能性が示唆された。将来的に遺伝改良を行う上では、経済形質や健康形質との詳細な関連性のさらなる調査や継続的なデータ収集が課題である。データ収集という点では月齢間の遺伝相関は概して正の関係が存在するため、ある一時点の測定記録でも十分に活用できると期待される。しかしながら、生後間もない時点の記録は推定誤差が大きいため、その利用には注意が必要である。また、体型審査形質の一部の形質は成長形質との遺伝的関係が存在するため、それらの形質を利用して体格の大型化を抑制した遺伝改良を実施することも可能であると推察する。

6. 参考文献

- 1) Arango JA, Cundiff LV, Van Vleck LD. 2004. Covariance functions and random regression models for cow weight in beef cattle. *Journal of Animal Science*. 82:54-67.
- 2) 家畜改良センター. 2019. 乳用牛評価報告 第39号.
- 3) Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). Proc. 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Montpellier, France. CD-ROM communication 28:07.
- 4) Mrode RA. 2014. Linear models for the prediction of animal breeding values. 3rd ed. Cabi.
- 5) Riley DG, Coleman SW, Chase Jr CC, Olson TA, Hammond AC. 2007. Genetic parameters for body weight, hip height, and the ratio of weight to hip height from random regression analyses of Brahman feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 85:42-52.

第9章 長命性と体のサイズに関係する体型形質との遺伝的関連性の世代による変化

1. はじめに

第6章の分析結果によれば、ホルスタイン雌牛の体型は徐々に大型化していることが明らかになっている。しかし、このような乳用牛の大型化は長命連産性や生産寿命を短縮させる原因として望ましいことではないとされている。乳用牛は近年の大型化に伴い、育成期において発育性に優れているが、初産分娩後は飼養管理や搾乳管理が容易な適正なサイズが求められるようになった。第4章の分析結果によれば、適正な体のサイズは高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅の線形スコアにおいて5以下に相当するとの結論を得ている。しかし、上述したようにホルスタインの大型化の傾向は現在でも進み(第6章)、体高は高さのスコアで平均7、すなわち148 cmを超えるまでに大型化していることから、生産寿命の短命が懸念されている状況にある。

本分析では、ホルスタイン集団を世代ごとに分割し、体のサイズを表す体型形質、在群期間(HL)および生産期間(PL)の遺伝的パラメータが経時的に変化する様相について調査を行った。

2. 材料および方法

分析では、2017年3月末までに牛群検定事業で集積された雌牛記録の内、18から35ヵ月齢で初産分娩し305日(240日以上305日まで)の正常な泌乳記録を持つ雌牛を抽出し、さらにこれら雌牛には初産分娩後365日以内に実施された体型審査記録を結合した。分析に使用した体型審査形質は、体のサイズに関係する線形式体型形質として高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅の4形質、さらに体のサイズと関係がある体貌と骨格(得率形質)加え5形質とした。

分析に使用した長命性の形質は、PLとHLである。PLは各産次の分娩年月日と乾乳年月日を使用して算出した泌乳月数を合計した値である。PL36はこの合計値が36ヵ月齢を超えた場合は36とした。この方法に基づき、36から84ヵ月齢までを12ヵ月ごとに切断し、PLはPL36、PL48、PL60、PL72およびPL84の5形質を分析に使用した。HLは誕生年月日と除籍年月日を使用して算出した形質であり、出生から除籍までの月数で表示される。HLはPLと同様に36から84ヵ月齢まで12ヵ月ごとに切断し、本分析ではHL36、HL48、HL60、HL72およびHL84の5形質を分析に使用した。

遺伝的パラメータを利用してホルスタインの世代の変化を調査するため、審査年月日に基づき集団を4つのデータセットに分割した。データセットAD1は本分析の対象とした最も古い世代であり、1984年4月1日から1994年3月31日の範囲で体型審査を実施した集団である。同様にAD2は1994年4月1日から2003年9月30日、AD3

は2003年10月1日から2011年3月31日、さらにAD4は2011年4月1日から2017年3月31日の各範囲で分割し、データセットを作成した。

表9-1. AD1の記録数、平均値、標準偏差、最小値および最大値

	記録数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
PL36	49,030	8.4	2.1	1	16
PL48	49,030	16.2	3.6	1	26
PL60	49,030	22.6	6.4	1	35
PL72	49,030	27.5	9.7	1	45
PL84	49,030	31.0	12.8	1	55
HL36	49,030	35.9	0.6	24	36
HL48	49,030	46.7	3.4	24	48
HL60	49,030	55.7	7.6	24	60
HL72	49,030	62.7	12.2	24	72
HL84	49,030	67.7	16.6	24	84
体貌と骨格	—	—	—	—	—
高さ	49,030	6.17	1.32	1	9
胸の幅	49,030	5.28	0.87	1	9
体の深さ	49,030	5.61	0.88	1	9
坐骨幅	—	—	—	—	—

表9-2. AD2の記録数、平均値、標準偏差、最小値および最大値

	記録数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
PL36	185,543	8.9	2.5	1	17
PL48	185,543	17.1	3.8	1	28
PL60	185,543	23.9	6.7	1	38
PL72	185,543	29.1	10.2	1	50
PL84	185,543	32.7	13.4	1	60
HL36	185,543	35.9	0.6	21	36
HL48	185,543	46.8	3.3	21	48
HL60	185,543	55.9	7.4	21	60
HL72	185,543	62.8	12.0	21	72
HL84	185,543	67.7	16.2	21	84
体貌と骨格	185,543	79.6	2.09	50	87
高さ	185,543	6.50	1.42	1	9
胸の幅	185,543	5.35	1.07	1	9
体の深さ	185,543	5.70	1.10	1	9
坐骨幅	—	—	—	—	—

表9-1から表9-4には4分割したデータセットの各統計量を示した。AD1は体貌と骨格および坐骨幅のデータを収集していない集団であり、49,030記録で構成されている(表9-1)。AD2は坐骨幅のデータがない185,543記録の集団である(表9-2)。AD3と

AD4 は分析に必要なすべての体型形質が揃っているデータセットである(表 9-3 と表 9-4)。なお、AD1、AD2 および AD3 はすべての雌牛が 84 カ月齢に到達できる年月日でそれぞれ切断したデータセットであり、すべての雌牛が最長 84 カ月齢までの生存を確認できる記録である。

表9-3. AD3の記録数、平均値、標準偏差、最小値および最大値

	記録数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
PL36	161,311	10.0	2.4	1	17
PL48	161,311	18.6	3.8	1	28
PL60	161,311	25.5	6.8	1	38
PL72	161,311	30.7	10.3	1	49
PL84	161,311	34.3	13.5	1	60
HL36	161,311	35.9	0.8	22	36
HL48	161,311	46.7	3.5	22	48
HL60	161,311	55.7	7.6	22	60
HL72	161,311	62.4	12.2	22	72
HL84	161,311	67.1	16.4	22	84
体貌と骨格	161,311	79.4	2.38	50	86
高さ	161,311	6.33	1.39	1	9
胸の幅	161,311	5.15	1.10	1	9
体の深さ	161,311	5.36	1.10	1	9
坐骨幅	161,311	5.05	1.11	1	9

表9-4. AD4の記録数、平均値、標準偏差、最小値および最大値

	記録数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
PL36	162,239	10.1	2.5	1	17
PL48	149,782	18.5	4.0	1	28
PL60	136,047	24.8	7.3	1	39
PL72	124,989	28.7	10.9	1	50
PL84	116,105	30.2	13.6	1	59
HL36	162,239	35.9	0.9	23	36
HL48	149,782	46.5	3.8	23	48
HL60	136,047	54.6	8.3	23	60
HL72	124,989	59.7	13.0	23	72
HL84	116,105	61.8	16.6	23	84
体貌と骨格	162,239	79.9	2.43	52	88
高さ	162,239	6.83	1.35	1	9
胸の幅	162,239	5.34	1.08	1	9
体の深さ	162,239	5.58	1.04	1	9
坐骨幅	162,239	5.26	1.12	1	9

一方、AD4 の場合、各月齢までの生存が確認できない雌牛の HL と PL に関しては

記録を欠測値とした。表9-4に示したようにAD4の記録数はHL36とPL36で欠測値のない162,239であるが、切断月齢が高齢な形質ほど欠測値が増え記録数が少なくなっている。なお、2004年4月から審査標準が変更され一般外貌が体貌と骨格という形質に変更された。そのためAD3には新旧の審査標準による一般外貌と体貌と骨格の記録が混在するが、AD3では一般外貌によって採点された記録も体貌と骨格として一緒に分析した

遺伝的パラメータの推定には以下のような多形質アニマルモデルを仮定した。

$$\text{モデル1: } y_{ijm} = HY_i + YM_j + bv_m + e_{ijm}$$

$$\text{モデル2: } y_{ijklm} = HY_i + CY_j + AGE_k + SOL_l + bv_m + e_{ijklm}$$

ここで、

y_{ijm}, y_{ijklm} : HL、PL および体型形質の表現型値

HY_i : 牛群分晩年に関する母数効果

YM_j : 分晩年月に関する母数効果

CY_j : 審査員年度に関する母数効果

AGE_k : 審査月齢に関する母数効果

SOL_l : 泌乳ステージに関する母数効果

bv_m : 相加的遺伝効果に関する変量効果

e_{ijm}, e_{ijklm} : 残差に関する変量効果

多形質アニマルモデルは、HLとPLに関してモデル1、体型形質に関してはモデル2を使用した。表9-5にはデータセットAD1からAD4のそれぞれにおいて、多形質アニマルモデルに含まれる各効果の水準数を示した。牛群分晩年のサブクラスは母数効果として扱ったため、5記録以上を含む記録に制限した。審査月齢は記録数が少なかった18から25カ月齢、38から39カ月齢および40カ月齢以上を3クラスにまとめ、その他の月齢は1月ごととして15水準とした。泌乳ステージは分晩年月日から起算して330日までを30日ごととし、331日から365日をまとめて合計で12水準とした。血縁記録は本牛を第一世代として第三世代まで遡った。

表9-5. 効果と水準数

効果	AD1	AD2	AD3	AD4
牛群分晩年	6,094	18,235	15,268	15,094
分晩年月	132	125	88	93
審査月齢	15	15	15	15
審査員年度	88	76	58	57
泌乳ステージ	12	12	12	12
記録を持つ個体数	49,030	185,543	161,311	162,239
血縁のみ個体数	81,048	291,022	278,067	280,097

分析ではAD1 からAD4 のデータセットのそれぞれに関してHL と体型形質について各5形質、合計10形質の遺伝分散共分散を一度に推定した。同様に、PL と体型形質についても合計10形質の遺伝分散共分散を一度に推定した。それゆえ、多形質アニマルモデルによる遺伝分散共分散の推定は、合計で8回実施した。これらの遺伝的パラメータの推定にはGeorgia大学のグループが開発したGibbs Sampling法の実行プログラムであるTHRGIBBS1F90を使用した。Gibbs Samplingでは20万回のサンプリングを行い、その内最初の5万回をBurn-inした後、残り15万サンプルの平均値を遺伝的パラメータの推定値とした。なお、体のサイズに関する形質は、あらかじめWeigelら(1993)の方法を使用してヘテロ化した牛群分散を補正した。表9-1から表9-4に示した各形質の平均値と標準偏差は、牛群分散を補正する前の数値である。

3. 結果および考察

(1) 遺伝率の変化

表9-6には各世代集団におけるPL、HLおよび体型形質に関する遺伝率を示した。PL36の遺伝率は世代の経過とともに0.11、0.19、0.22および0.18上昇を示したが、PL48からPL84の各遺伝率は、AD1の世代において各々0.14、0.15、0.15および0.16であったが、AD4の世代では各々0.07、0.06、0.08および0.09に低下した。一方、HL36からHL84の伝率はAD1の世代においてそれぞれ0.01、0.07、0.11、0.13および0.15であったが、最も新しい世代であるAD4においては各々0.01、0.02、0.05、0.07および0.08に減少した。最近の世代の集団でPLとHLの遺伝率を比較した場合、PLにおいて遺伝率が高い形質は短い月齢で切断したPL36の0.18、反対にHLにおいて遺伝率が高かったのは最も長い期間で切断したHL84の0.08であった。

表9-6. 生産寿命および体の大きさに関する形質の遺伝率

	遺伝率 (%)			
	AD1	AD2	AD3	AD4
PL36	11.4	18.9	22.0	18.1
PL48	13.6	9.8	9.9	7.3
PL60	14.9	7.2	7.5	6.4
PL72	15.3	8.1	8.4	8.0
PL84	15.9	9.2	9.9	9.2
HL36	1.3	1.0	0.5	0.7
HL48	6.9	1.5	2.1	2.4
HL60	10.5	3.3	4.4	4.5
HL72	12.8	5.5	6.6	6.7
HL84	14.5	7.4	8.6	8.1
体貌と骨格		26.5	28.7	28.2
高さ	42.9	43.9	47.4	47.5
胸の幅	23.2	22.2	31.0	25.0
体の深さ	28.4	29.7	34.9	31.7
坐骨幅			31.3	35.1

体貌と骨格の遺伝率は0.27から0.29の範囲で推定された。高さの遺伝率は世代の経過とともにそれぞれ0.43、0.44、0.47および0.48とわずかに上昇した。同様に体の深さも0.28、0.30、0.35および0.32と徐々に上昇する傾向が見られた。胸の幅の遺伝率はAD3の世代集団で0.35が推定されたが、それ以外の集団では0.22から0.25の範囲であった。坐骨幅はAD3とAD4の世代において0.31と0.35の遺伝率が推定された。これら体のサイズに関する体型形質の遺伝率は、他の研究報告と比較し、妥当な範囲で推定されたものと推察された。

(2) 遺伝相関の変化

図9-1には世代に対するPL84と体型形質の遺伝相関の変化、同様に図9-2にはPL84との遺伝相関の変化を示した。世代に対する変化は、PL84とHL84に関して類似した傾向を示した。体のサイズに関する形質は、最も古い集団であるAD1においてPLおよびHLとの間に明確な遺伝相関を推定することができなかった。しかし、胸の幅と体の深さはAD2の世代においてPLとの間で-0.25、HLとの間で-0.54の低い負の遺伝相関が認められるようになり、この傾向はAD3およびAD4の世代集団まで続いた。高さとの遺伝相関はAD2で-0.06、AD3で-0.16と徐々に負の関係が上昇する傾向が認められた。このような変化はHLと高さの遺伝相関でも認められた。坐骨幅はAD3とAD4の世代で推定されたが、これらの世代集団では高さ、胸の幅および体の深さと同様に低い負の遺伝相関が推定された。一方、体貌と骨格は世代に対してPLまたはHLとの遺伝相関大きな変化がなく無相関であった。

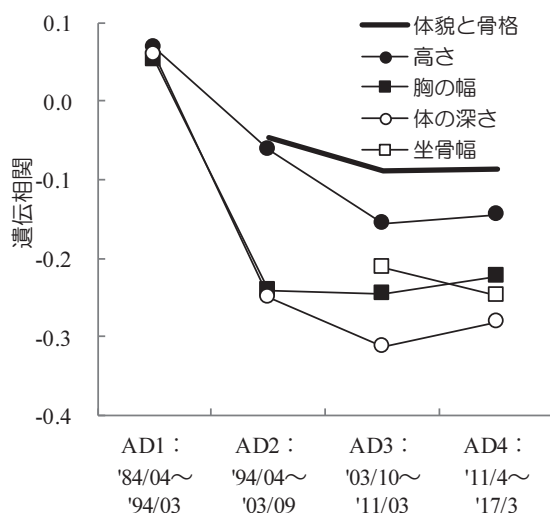


図9-1. PL84と体のサイズに関する形質との年代別遺伝相関

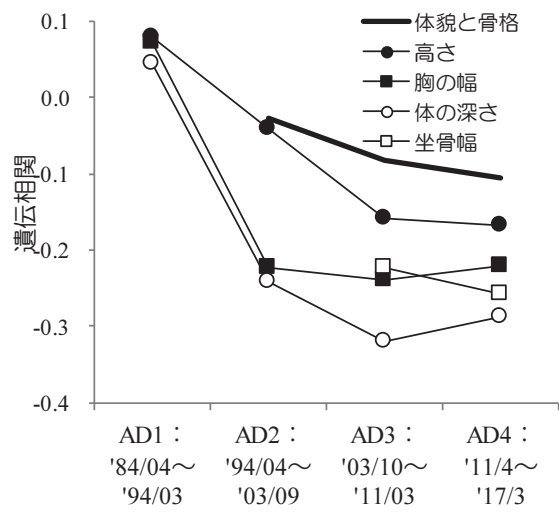


図9-2. HL84と体のサイズに関する形質との年代別遺伝相関

本分析では、世代とともに PL または HL と体のサイズに関係した形質との遺伝相関が負値を示す傾向が認められたが、世代とともに体のサイズが大型化する傾向と関連性があるものと推察される。体のサイズが平均的にそれほど大型化していなかった世代の集団では大きな問題にならなかったが、体のサイズが平均的に大型化している現在のような雌牛集団では体のサイズを大きくする選抜が PL や HL を短縮させる方向へ間接反応している可能性があるかと推察された。

4. 結論

体のサイズに関係する体型形質の遺伝率は、世代別に区分された集団にわたり、妥当な範囲で推定された。一方、PL と HL の遺伝率は、PL36 以外において世代の経過とともに低下する傾向が認められた。PL または HL と体のサイズに関係した体型形質との間には、世代の経過とともに低い負の遺伝相関が明らかになった。このような傾向は、ホルスタインの大型化と関連性があるものと推察された。

5. 参考文献

- 1) 河原孝吉, 鈴木三義, 池内豊. 1996. ホルスタイン種牛集団における産乳と体型形質および長命性の遺伝的パラメータ. 日畜会報. 67: 463-475.
- 2) 萩谷功一, 大澤剛史, 増田豊, 鈴木三義, 山崎武志, 長峰慶隆, 富樫研治. 2012. ホルスタイン種における在群期間と泌乳・体型形質の遺伝相関の年代的な変化. 日畜会報. 83: 1-19
- 3) Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). Proc. 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Montpellier, France. CD-ROM communication 28:07.
- 4) Tsuruta S, Misztal I, Lawlor TJ. 2004. Genetic correlations among production, body size, udder, and productive life traits over time in Holsteins. J. Dairy Sci. 87: 1457-1468.
- 5) Schaeffer L.R. Strategy for applying genome-wide selection in dairy cattle. J. Anim. Breed. Genet. 2006; 123: 218-223
- 6) Weigel KA, Gianola D. 1993. A computationally simple bayesian method for estimation of heterogeneous within-herd phenotypic variances. J. Dairy Sci. 76: 1455-1465.
- 7) Zink V, Štípková M, Lassen J. 2011. Genetic parameters for female fertility, locomotion, body condition score, and linear type traits in Czech Holstein cattle. J. Dairy Sci. 94 :5176-5182.

附表9-1. AD1における生産期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	PL36	PL48	PL60	PL72	PL84	高さ	胸の幅	体の深さ
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）								
PL36	<u>0.422</u>							
PL48	0.746	<u>1.610</u>						
PL60	1.271	3.006	<u>5.879</u>					
PL72	1.724	4.390	8.870	<u>13.730</u>				
PL84	2.169	5.701	11.690	18.360	<u>24.820</u>			
高さ	0.147	0.151	0.183	0.236	0.288	<u>0.719</u>		
胸の幅	8.80E-2	9.58E-2	0.130	0.154	0.161	0.447	<u>0.364</u>	
体の深さ	0.115	0.143	0.198	0.222	0.201	0.449	0.390	<u>0.464</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）								
PL36	<u>3.280</u>							
PL48	3.132	<u>10.240</u>						
PL60	3.088	15.510	<u>33.540</u>					
PL72	3.080	19.590	47.090	<u>76.040</u>				
PL84	3.026	22.380	56.440	96.030	<u>1.31E+2</u>			
高さ	-4.75E-2	5.87E-4	5.61E-2	7.70E-2	7.36E-2	<u>0.954</u>		
胸の幅	-1.63E-2	2.71E-2	4.22E-2	5.21E-2	1.77E-2	0.394	<u>1.209</u>	
体の深さ	-6.04E-4	1.31E-2	1.71E-3	-3.08E-2	-9.14E-2	0.346	0.642	<u>1.169</u>

附表9-2. AD2における生産期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	PL36	PL48	PL60	PL72	PL84	体貌と骨格	高さ	胸の幅	体の深さ
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）									
PL36	<u>0.895</u>								
PL48	0.967	<u>1.215</u>							
PL60	1.122	1.703	<u>2.879</u>						
PL72	1.300	2.334	4.460	<u>7.389</u>					
PL84	1.461	2.946	6.023	10.330	<u>14.730</u>				
体貌と骨格	7.37E-2	1.22E-2	-4.84E-2	-0.144	-0.224	<u>1.643</u>			
高さ	3.20E-2	-9.76E-3	-6.52E-2	-0.150	-0.211	0.947	<u>0.809</u>		
胸の幅	-6.24E-3	-7.68E-2	-0.199	-0.389	-0.564	0.651	0.437	<u>0.371</u>	
体の深さ	4.80E-3	-8.07E-2	-0.231	-0.461	-0.687	0.782	0.513	0.423	<u>0.518</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）									
PL36	<u>3.850</u>								
PL48	3.726	<u>11.200</u>							
PL60	3.897	17.020	<u>36.990</u>						
PL72	4.132	21.760	52.010	<u>84.330</u>					
PL84	4.347	25.110	62.500	1.07E+02	<u>1.46E+2</u>				
体貌と骨格	-3.89E-2	0.229	0.510	0.758	0.928	<u>4.555</u>			
高さ	-4.70E-2	1.42E-2	6.30E-2	9.96E-2	9.09E-2	0.973	<u>1.035</u>		
胸の幅	-2.17E-2	4.30E-2	7.52E-2	8.03E-2	4.63E-2	1.006	0.501	<u>1.299</u>	
体の深さ	2.85E-2	9.13E-2	0.110	9.29E-2	2.64E-2	1.067	0.537	0.734	<u>1.226</u>

附表9-3. AD3における生産期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	PL36	PL48	PL60	PL72	PL84	体貌と 骨格	高さ	胸の幅	体の 深さ	坐骨幅
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）										
PL36	<u>1.022</u>									
PL48	1.052	<u>1.279</u>								
PL60	1.168	1.797	<u>3.180</u>							
PL72	1.264	2.407	4.901	<u>8.114</u>						
PL84	1.370	3.029	6.662	11.420	<u>16.370</u>					
体貌と骨格	8.15E-2	-1.54E-2	-0.178	-0.328	-0.474	<u>1.745</u>				
高さ	5.55E-2	-4.69E-2	-0.239	-0.423	-0.594	1.041	<u>0.887</u>			
胸の幅	1.36E-2	-9.43E-2	-0.285	-0.507	-0.726	0.799	0.601	<u>0.535</u>		
体の深さ	3.88E-2	-0.101	-0.353	-0.673	-0.993	0.860	0.627	0.556	<u>0.618</u>	
坐骨幅	3.91E-2	-5.83E-2	-0.220	-0.440	-0.664	0.616	0.443	0.385	0.398	<u>0.607</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）										
PL36	<u>3.619</u>									
PL48	3.515	<u>11.690</u>								
PL60	3.665	17.820	<u>39.070</u>							
PL72	3.769	22.380	54.390	<u>87.940</u>						
PL84	3.848	25.300	64.350	1.10E+2	<u>1.49E+2</u>					
体貌と骨格	-3.43E-2	0.202	0.448	0.649	0.763	<u>4.337</u>				
高さ	-4.00E-2	3.31E-2	0.106	0.108	7.52E-2	0.888	<u>0.982</u>			
胸の幅	-3.81E-2	2.99E-2	3.95E-2	-2.12E-3	-8.08E-2	1.008	0.538	<u>1.190</u>		
体の深さ	1.94E-2	9.60E-2	0.126	0.107	3.02E-2	1.001	0.547	0.742	<u>1.156</u>	
坐骨幅	-1.42E-2	3.56E-2	4.79E-2	2.27E-2	-2.69E-2	0.710	0.353	0.424	0.432	<u>1.332</u>

附表9-4. AD4における生産期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	PL36	PL48	PL60	PL72	PL84	体貌と 骨格	高さ	胸の幅	体の 深さ	坐骨幅
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）										
PL36	<u>0.877</u>									
PL48	0.796	<u>1.005</u>								
PL60	0.788	1.472	<u>2.813</u>							
PL72	0.838	2.086	4.481	<u>7.481</u>						
PL84	0.870	2.569	5.830	9.959	<u>13.450</u>					
体貌と骨格	0.106	4.24E-2	-0.104	-0.258	-0.410	<u>1.688</u>				
高さ	6.47E-2	-1.02E-2	-0.166	-0.322	-0.469	0.915	<u>0.777</u>			
胸の幅	1.23E-3	-6.83E-2	-0.203	-0.373	-0.527	0.667	0.477	<u>0.420</u>		
体の深さ	-7.52E-3	-0.110	-0.305	-0.539	-0.754	0.721	0.496	0.437	<u>0.538</u>	
坐骨幅	1.80E-2	-7.03E-2	-0.293	-0.526	-0.752	0.617	0.402	0.301	0.333	<u>0.685</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）										
PL36	<u>3.956</u>									
PL48	3.962	<u>12.810</u>								
PL60	4.089	19.120	<u>40.950</u>							
PL72	4.066	23.060	55.040	<u>85.730</u>						
PL84	3.972	25.100	62.660	1.03E+02	<u>1.33E+02</u>					
体貌と骨格	-0.113	0.116	0.379	0.613	0.765	<u>4.305</u>				
高さ	-7.30E-2	-3.59E-2	-1.74E-2	-3.30E-2	-6.22E-2	0.753	<u>0.860</u>			
胸の幅	-5.07E-2	-5.18E-3	-6.11E-3	-3.20E-2	-7.47E-2	1.019	0.443	<u>1.262</u>		
体の深さ	6.75E-2	0.117	0.113	5.62E-2	-1.62E-2	0.931	0.435	0.657	<u>1.160</u>	
坐骨幅	-1.02E-2	4.43E-2	0.107	0.142	0.162	0.679	0.259	0.318	0.309	<u>1.265</u>

附表9-5. AD1における在群期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	HL36	HL48	HL60	HL72	HL84	高さ	胸の幅	体の深さ
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）								
HL36	<u>4.73E-3</u>							
HL48	5.65E-2	<u>0.789</u>						
HL60	0.149	2.132	<u>5.904</u>					
HL72	0.251	3.682	10.370	<u>18.440</u>				
HL84	0.342	5.130	14.650	26.370	<u>38.150</u>			
高さ	1.02E-2	5.26E-2	0.142	0.272	0.409	<u>0.713</u>		
胸の幅	9.73E-3	6.76E-2	0.142	0.209	0.267	0.443	<u>0.360</u>	
体の深さ	8.96E-3	7.28E-2	0.149	0.192	0.188	0.445	0.388	<u>0.462</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）								
HL36	<u>0.362</u>							
HL48	1.165	<u>10.600</u>						
HL60	1.771	20.230	<u>50.060</u>					
HL72	2.210	27.230	74.590	<u>1.25E+2</u>				
HL84	2.505	31.950	91.100	1.62E+2	<u>2.25E+2</u>			
高さ	2.54E-3	6.45E-2	0.158	0.196	0.180	<u>0.958</u>		
胸の幅	2.82E-4	2.64E-2	7.89E-2	9.33E-2	4.31E-2	0.396	<u>1.211</u>	
体の深さ	-1.01E-3	7.03E-3	3.92E-2	2.57E-2	-4.53E-2	0.348	0.643	<u>1.170</u>

附表9-6. AD2における在群期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	HL36	HL48	HL60	HL72	HL84	体貌と骨格	高さ	胸の幅	体の深さ
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）									
HL36	<u>1.37E-3</u>								
HL48	1.10E-2	<u>0.151</u>							
HL60	2.87E-2	0.476	<u>1.620</u>						
HL72	5.42E-2	0.955	3.348	<u>7.033</u>					
HL84	7.79E-2	1.459	5.197	11.010	<u>17.360</u>				
体貌と骨格	-3.76E-3	-3.16E-2	-4.92E-2	-9.93E-2	-0.148	<u>1.646</u>			
高さ	-7.69E-3	-3.28E-2	-4.99E-2	-0.113	-0.153	0.949	<u>0.810</u>		
胸の幅	-4.66E-3	-5.42E-2	-0.161	-0.360	-0.567	0.650	0.436	<u>0.370</u>	
体の深さ	-4.14E-3	-6.46E-2	-0.201	-0.450	-0.722	0.782	0.512	0.422	<u>0.518</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）									
HL36	<u>0.350</u>								
HL48	1.116	<u>9.840</u>							
HL60	1.722	19.030	<u>47.870</u>						
HL72	2.162	25.680	71.540	<u>1.21E+2</u>					
HL84	2.457	30.080	87.110	1.57E+2	<u>2.18E+2</u>				
体貌と骨格	3.21E-2	0.317	0.686	0.994	1.215	<u>4.553</u>			
高さ	9.62E-3	8.20E-2	0.141	0.186	0.170	0.973	<u>1.034</u>		
胸の幅	1.04E-2	8.15E-2	0.128	0.125	8.20E-2	1.006	0.502	<u>1.300</u>	
体の深さ	1.03E-2	8.13E-2	0.111	8.25E-2	1.10E-4	1.068	0.538	0.735	<u>1.226</u>

附表9-7. AD3における在群期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	HL36	HL48	HL60	HL72	HL84	体貌と 骨格	高さ	胸の幅	体の 深さ	坐骨幅
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）										
HL36	<u>2.65E-3</u>									
HL48	2.05E-2	<u>0.240</u>								
HL60	5.96E-2	0.738	<u>2.338</u>							
HL72	0.111	1.410	4.528	<u>8.881</u>						
HL84	0.167	2.122	6.858	13.540	<u>20.770</u>					
体貌と骨格	-2.02E-2	-8.71E-2	-0.215	-0.352	-0.501	<u>1.747</u>				
高さ	-1.95E-2	-0.103	-0.283	-0.487	-0.684	1.043	<u>0.889</u>			
胸の幅	-1.81E-2	-0.108	-0.292	-0.539	-0.800	0.800	0.602	<u>0.535</u>		
体の深さ	-2.05E-2	-0.135	-0.389	-0.753	-1.145	0.859	0.627	0.555	<u>0.618</u>	
坐骨幅	-1.51E-2	-9.90E-2	-0.266	-0.521	-0.796	0.619	0.445	0.386	0.398	<u>0.609</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）										
HL36	<u>0.515</u>									
HL48	1.526	<u>11.130</u>								
HL60	2.303	20.910	<u>50.930</u>							
HL72	2.848	27.780	74.930	<u>1.25E+2</u>						
HL84	3.193	32.120	90.160	1.60E+2	<u>2.20E+2</u>					
体貌と骨格	4.69E-2	0.279	0.581	0.826	0.975	<u>4.335</u>				
高さ	2.01E-2	8.94E-2	0.171	0.183	0.145	0.887	<u>0.981</u>			
胸の幅	1.89E-2	7.64E-2	8.88E-2	3.72E-2	-6.06E-2	1.008	0.538	<u>1.189</u>		
体の深さ	2.52E-2	9.63E-2	0.134	0.108	2.37E-2	1.001	0.548	0.742	<u>1.156</u>	
坐骨幅	1.75E-2	7.62E-2	9.34E-2	6.72E-2	1.76E-2	0.708	0.351	0.423	0.431	<u>1.331</u>

附表9-8. AD4における在群期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	HL36	HL48	HL60	HL72	HL84	体貌と 骨格	高さ	胸の幅	体の 深さ	坐骨幅
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）										
HL36	<u>4.58E-03</u>									
HL48	3.37E-02	<u>0.306</u>								
HL60	8.88E-02	0.859	<u>2.501</u>							
HL72	0.156	1.559	4.607	<u>8.620</u>						
HL84	0.214	2.153	6.406	12.100	<u>17.150</u>					
体貌と骨格	-1.14E-2	-7.97E-2	-0.211	-0.398	-0.565	<u>1.695</u>				
高さ	-1.09E-2	-9.17E-2	-0.247	-0.444	-0.615	0.920	<u>0.781</u>			
胸の幅	-8.99E-3	-7.44E-2	-0.201	-0.405	-0.590	0.669	0.479	<u>0.420</u>		
体の深さ	-1.42E-2	-0.107	-0.310	-0.606	-0.876	0.721	0.496	0.437	<u>0.541</u>	
坐骨幅	-1.01E-2	-0.100	-0.330	-0.613	-0.885	0.619	0.403	0.302	0.334	<u>0.684</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）										
HL36	<u>0.689</u>									
HL48	1.898	<u>12.370</u>								
HL60	2.747	22.260	<u>52.670</u>							
HL72	3.264	28.380	74.570	<u>1.20E+02</u>						
HL84	3.537	31.670	86.440	1.48E+02	<u>1.94E+02</u>					
体貌と骨格	4.13E-2	0.287	0.611	0.915	1.108	<u>4.300</u>				
高さ	9.36E-3	5.83E-2	8.06E-2	7.25E-2	3.66E-2	0.750	<u>0.858</u>			
胸の幅	1.31E-2	5.54E-2	3.85E-2	3.92E-3	-5.47E-2	1.017	0.441	<u>1.262</u>		
体の深さ	2.24E-2	8.64E-2	9.52E-2	5.04E-2	-3.40E-2	0.932	0.435	0.657	<u>1.157</u>	
坐骨幅	1.17E-2	7.82E-2	0.150	0.191	0.218	0.678	0.259	0.318	0.309	<u>1.266</u>

第10章 真の長命性、機能的長命性、繁殖性および体のサイズに関する体型形質との遺传的パラメータの推定

1. はじめに

第9章ではホルスタインの大型化にともない、体のサイズに関する体型形質が生産期間(PL)や在群期間(HL)との間に低い負の遺伝相関が認められることを報告した。それゆえ、PL や HL の延長が期待できる潜在的能力の改良には、体のサイズを負の方向に選抜する方法が有効と考えられる。

体のサイズを小型化する方向へ選抜することにより、PL、HL および繁殖性の改良を間接反応におり進めることは有効と考えられることから、その基礎資料として本分析では PL、HL、繁殖性および体のサイズに関する体型形質間の遺伝分散共分散を推定した。また、体のサイズを小型化する選抜は決定得点や体貌と骨格の得率などが低下方向に間接反応する可能性があるとの報告があり、それゆえにこれらの形質も含めて分析を行った。さらに、本分析では繋ぎ飼いや放し飼いやに分けて遺传的パラメータを推定し、体のサイズが PL や HL に及ぼす遺传的影響について両集団の違いを調査した。

2. 材料および方法

データは、2017年3月末まで集積された牛群検定記録の内、18から35ヵ月齢で初産分娩した雌牛を抽出し、305日(240日以上305日まで)の正常な泌乳記録を持つ雌牛を抽出した。次に、これら雌牛には初産分娩後365日以内に実施した体型審査記録を結合した。次に、このデータは飼養管理法の違いにより、繋ぎ飼いや放し飼いやに分けられた。PLは産次別に分娩年月日と乾乳年月日から泌乳月数を算出し、36から84ヵ月齢まで12ヵ月ごとに切断した5形質、すなわちPL36、PL48、PL60、PL72およびPL84のデータを作成した。HLは誕生年月日と除籍年月日から月数を算出し、PLと同様に36から84ヵ月齢まで12ヵ月ごとに切断した5形質、それぞれHL36、HL48、HL60、HL72およびHL84を作成した。

体型形質としては高さ、胸の幅、体の深、坐骨幅、体貌と骨格の得率および決定得点の6形質を分析に使用した。本分析では、繁殖性として空胎日数および初産次の初回授精受胎率(以下、受胎率という)の2形質を利用した。データは6つの体型形質すべてにおいて欠測がなく、2003年10月1日以降の体型審査から得られたデータの内、2017年3月末の時点ですべての雌牛が84ヵ月齢に達する2011年3月31日までの審査記録とした。表10-1には分析に使用した繋ぎ飼いや放し飼いやにおける記録数、平均値、標準偏差(SD)、最小値および最大値を示した。

遺传的パラメータの推定には多形質アニマルモデルを使用した。形質により考慮す

べき母数効果が異なることから、それぞれ以下のモデル1からモデル4を仮定した。真の生産期間(TPL)または真の在群期間(THL)の遺伝的パラメータはモデル1、機能的生産期間(FPL)または機能的在群期間(FHL)の遺伝的パラメータはモデル2を使用して推定した。FPLとFHLの遺伝的パラメータは、乳量を使用して補正されている。また、体のサイズに関する6種類の体型形質はモデル3、2種類の繁殖形質にはモデル4を使用した。

表10-1. 分析に使用した各形質の記録数、平均値、標準偏差(SD)、最小値および最大値

形質	繋ぎ飼い集団					放し飼い集団				
	記録数	平均値	SD	最小値	最大値	記録数	平均値	SD	最小値	最大値
PL36	160,367	10.1	2.4	1	17	112,261	10.4	2.3	1	17
PL48	158,706	19.0	3.4	2	28	110,053	19.2	3.6	2	28
PL60	150,882	26.2	6.1	2	38	102,590	25.7	6.7	2	39
PL72	144,471	31.3	9.5	2	50	98,744	30.0	10.3	2	50
PL84	139,752	34.5	12.8	2	60	96,333	32.4	13.2	2	59
HL36	160,367	36.0	0.4	25	36	112,261	35.9	0.5	23	36
HL48	158,706	47.2	2.7	25	48	110,053	46.9	3.2	23	48
HL60	150,882	56.5	6.6	25	60	102,590	55.3	7.5	23	60
HL72	144,471	63.1	11.3	25	72	98,744	60.9	12.0	23	72
HL84	139,752	67.3	15.5	25	84	96,333	64.0	15.8	23	84
体貌と骨格	160,367	79.8	2.51	50	87	112,261	79.8	2.27	52	86
決定得点	160,367	78.5	2.58	60	88	112,261	78.4	2.59	60	88
高さ	160,367	6.74	1.40	1	9	112,261	6.65	1.36	1	9
胸の幅	160,367	5.36	1.09	1	9	112,261	5.28	1.06	1	9
体の深さ	160,367	5.54	1.07	1	9	112,261	5.58	1.03	1	9
坐骨幅	160,367	5.24	1.12	1	9	112,261	5.17	1.11	1	9
空胎日数	160,367	152	83.2	22	365	112,261	143	82.4	22	365
受胎率	160,367	0.36	0.48	0	1	112,261	0.37	0.48	0	1

$$\text{モデル1: } y_{ijm} = HY_i + YM_j + bv_m + e_{ijm}$$

$$\text{モデル2: } y_{ijm} = HY_i + YM_j + b_1MSD_m + b_2MSD_m^2 + bv_m + e_{ijm}$$

$$\text{モデル3: } y_{ijkm} = HY_i + CY_j + AGE_k + SOL_l + bv_m + e_{ijkm}$$

$$\text{モデル4: } y_{ijkm} = HY_i + YM_j + AGE_k + bv_m + e_{ijkm}$$

ここで、 y_{ijm} , y_{ijkm} , y_{ijkm} : 生産期間、在群期間、体型形質または繁殖性の表現型値

HY_i : 牛群分晩年に関する母数効果

YM_j : 分晩年月に関する母数効果

MSD_m : 牛群分晩年ごとの乳量の牛群内偏差

b_1 : 牛群分晩年ごとの乳量の牛群内偏差に対する一次の偏回帰係数

b_2 : 牛群分晩年ごとの乳量の牛群内偏差に対する二次の偏回帰係数

CY_j : 審査員年度に関する母数効果

AGE_k : 審査月齢に関する母数効果

SOL_i : 泌乳ステージに関する母数効果
 b_{vm} : 相加的遺伝効果に関する変量効果
 $e_{ijm}, e_{ijkm}, e_{ijkn}$: 残差分散

表10-2. 統計モデルの効果と水準数

効果	集 団	
	繋ぎ飼い	放し飼い
牛群分娩年	14,679	8,414
分娩年月	144	144
審査月齢	15	15
審査員年度	97	97
泌乳ステージ	12	12
記録を持つ個体数	160,367	112,261
血縁のみ個体数	179,683	173,573

図 10-2 には、分析モデルに含まれる各効果と水準数を示した。牛群分娩年の母数効果は、5 記録以上を有する水準のみとした。審査月齢は 18 から 25 カ月齢、38 から 39 カ月齢および 40 カ月齢以上を各々3 区分とし、その他は月齢ごととして 15 水準とした。泌乳ステージは分娩年月日から 330 日までを 30 日ごとに 11 に区分し、331 日から 365 日の範囲を 1 区分として加え、12 水準とした。血縁記録は本牛を第一世代として第三世代まで遡った。また、受胎率は閾値形質として分析した。

分析は THRGIBBS1F90 プログラム (Misztal ら, 2002) を使用し、Gibbs Sampling 法で行った。サンプルは 20 万回発生させ、その内、最初の 5 万回を Burn-in した残り 15 万サンプルの平均値を遺伝的パラメータの推定値とした。体のサイズに関する体型記録は、遺伝的パラメータを推定する前に牛群分散を補正した (Weigel ら, 1993)。

3. 結果および考察

表10-3から表10-6には、繋ぎ飼い集団における体型形質および繁殖性とそれぞれTPL、FPL、THL およびFHL の遺伝率と遺伝相関を示した。表 10-7 から表 10-10 には、放し飼い集団における同様の遺伝率と遺伝相関を示した。TPL および FPL の遺伝率は 36 カ月齢で 0.11 から 0.14 の範囲で推定されるが、28 カ月齢で最低になり 60、72 および 84 カ月齢で徐々に上昇し、TPL84 と FPL84 において 0.08 から 0.10 の範囲にあった。THL および FHL の遺伝率は切断月齢の高齢化にともない上昇し、THL84 と FHL84 で 0.08 から 0.09 の範囲で推定された。体型形質の遺伝率は、他の研究報告と比較して妥当な範囲で推定された。空胎日数の遺伝率は 0.06 から 0.11、受胎率の遺伝率は 0.05 から 0.10 の範囲にあり、両集団で大きな違いは認められなかった。

繋ぎ飼い集団において体貌と骨格は TPL84、FPL84、THL84 および FHL84 との間に -0.10 から -0.09 の遺伝相関が推定されたが、放し飼い集団では -0.21 から -0.18 の範囲で負の低い遺伝相関が推定された。このことから、放し飼い集団では体貌と骨格を選抜することで、生産寿命が短縮方向に反応する可能性が示唆された。

次に、繋ぎ飼い集団において高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅のような体のサイズに関する形質は、TPL84、FPL84、THL84 および FHL84 との間に -0.31 から -0.10 の範囲、放し飼い集団では -0.36 から -0.23 の範囲で負の遺伝相関が推定された。体のサイズを大型化する方向への選抜は、生産寿命の短縮化を促進させる間接反応が生じる可能性を示唆した。これらの結果は、体のサイズに関する形質と生産寿命との間に負の遺伝相関が存在することを報告した河原ら（1996）、Tsuruta ら（2004）および萩谷ら（2012）の報告と一致した。さらに本分析の結果は、体のサイズを大型化する選抜により、繋ぎ飼い集団よりも、放し飼い集団において生産寿命を顕著に短縮させる可能性を示唆した。

体のサイズに関する形質と空胎日数との間には、繋ぎ飼い集団において 0.00 から 0.17 の範囲、放し飼い集団において 0.07 から 0.28 の範囲で同様に無相関から低い正の遺伝相関が推定された。一方、同様にして受胎率との遺伝相関は、繋ぎ飼い集団において -0.21 から -0.02 の範囲、放し飼い集団において -0.37 から -0.15 の範囲にあり、放し飼い集団の方が体のサイズと受胎率の遺伝的関連性が顕著に認められた。特に体の深さは他の形質と比較し低い負の遺伝相関が顕著にみられることから、この結果は体の深さを深くする選抜が間接反応によって繁殖性を低下させる可能性を示唆した。また、高さとの間には Zinc ら（2011）が報告したとおり正の高い遺伝相関が存在することから、体高の上昇とともに体が深くなり、その結果として間接反応により繁殖性低下の一因になった可能性がある。

表10-3. 繋ぎ飼いにおける真の生産期間および体型形質に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	TPL 36	TPL 48	TPL 60	TPL 72	TPL 84	体貌 骨格	決定 得点	高さ	胸の 幅	体の 深さ	坐骨 幅	空胎 日数	受胎 率
TPL36	<u>0.14</u>												
TPL48	.93	<u>0.08</u>											
TPL60	.60	.85	<u>0.06</u>										
TPL72	.37	.67	.96	<u>0.07</u>									
TPL84	.27	.58	.92	.99	<u>0.09</u>								
体貌と骨格	.06	.01	-0.06	-0.08	-0.09	<u>0.29</u>							
決定得点	.20	.18	.13	.11	.10	.80	<u>0.24</u>						
高さ	.07	.01	-0.08	-0.09	-0.10	.77	.76	<u>0.47</u>					
胸の幅	.01	-0.07	-0.16	-0.16	-0.17	.78	.70	.83	<u>0.27</u>				
体の深さ	-0.01	-0.13	-0.24	-0.27	-0.28	.75	.63	.78	.92	<u>0.34</u>			
坐骨幅	.04	-0.03	-0.13	-0.17	-0.18	.57	.50	.56	.57	.55	<u>0.35</u>		
空胎日数	.87	.67	.29	.06	-0.02	.06	.20	.08	.06	.11	.11	<u>0.11</u>	
受胎率	-.89	-.70	-.32	-.09	-.01	-.07	-.19	-.09	-.07	-.11	-.07	-.93	<u>0.10</u>

表10-4. 繋ぎ飼いにおける機能的生産期間および体型形質に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	FPL 36	FPL 48	FPL 60	FPL 72	FPL 84	体貌 骨格	決定 得点	高さ	胸の 幅	体の 深さ	坐骨 幅	空胎 日数	受胎 率
FPL36	<u>0.12</u>												
FPL48	.86	<u>0.07</u>											
FPL60	.47	.84	<u>0.06</u>										
FPL72	.27	.69	.97	<u>0.08</u>									
FPL84	.21	.64	.95	1.00	<u>0.10</u>								
体貌と骨格	.04	-.01	-.07	-.09	-.09	<u>0.29</u>							
決定得点	.18	.17	.11	.08	.08	.80	<u>0.23</u>						
高さ	.05	-.02	-.09	-.12	-.12	.77	.76	<u>0.47</u>					
胸の幅	-.03	-.12	-.19	-.20	-.20	.78	.69	.83	<u>0.27</u>				
体の深さ	-.07	-.22	-.30	-.31	-.31	.75	.63	.77	.92	<u>0.34</u>			
坐骨幅	.01	-.06	-.15	-.18	-.19	.56	.50	.56	.57	.55	<u>0.35</u>		
空胎日数	.82	.48	.04	-.13	-.17	.04	.16	.06	.03	.08	.09	<u>0.10</u>	
受胎率	-.85	-.54	-.10	.09	.13	-.04	-.14	-.07	-.04	-.08	-.04	-.93	<u>0.09</u>

表10-5. 繋ぎ飼いにおける真の在群期間および体型形質に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	THL 36	THL 48	THL 60	THL 72	THL 84	体貌 骨格	決定 得点	高さ	胸の 幅	体の 深さ	坐骨 幅	空胎 日数	受胎 率
THL36	<u>0.00</u>												
THL48	.70	<u>0.02</u>											
THL60	.58	.97	<u>0.04</u>										
THL72	.53	.94	.99	<u>0.06</u>									
THL84	.51	.93	.98	1.00	<u>0.08</u>								
体貌と骨格	-.22	-.16	-.12	-.10	-.10	<u>0.29</u>							
決定得点	-.34	-.07	.01	.04	.05	.80	<u>0.24</u>						
高さ	-.45	-.22	-.16	-.13	-.12	.77	.76	<u>0.47</u>					
胸の幅	-.55	-.27	-.21	-.19	-.18	.78	.70	.83	<u>0.27</u>				
体の深さ	-.55	-.36	-.30	-.28	-.28	.75	.63	.78	.92	<u>0.34</u>			
坐骨幅	-.22	-.20	-.19	-.19	-.19	.57	.50	.56	.57	.55	<u>0.35</u>		
空胎日数	-.10	-.43	-.46	-.48	-.48	.00	.04	.01	.05	.17	.13	<u>0.10</u>	
受胎率	.29	.57	.52	.52	.51	.00	-.02	-.02	-.07	-.19	-.08	-.85	<u>0.06</u>

表10-6. 繋ぎ飼いにおける機能的在群期間および体型形質に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	FHL 36	FHL 48	FHL 60	FHL 72	FHL 84	体貌 骨格	決定 得点	高さ	胸の 幅	体の 深さ	坐骨 幅	空胎 日数	受胎 率
FHL36	<u>0.00</u>												
FHL48	.67	<u>0.02</u>											
FHL60	.56	.97	<u>0.04</u>										
FHL72	.52	.95	.99	<u>0.07</u>									
FHL84	.49	.93	.98	1.00	<u>0.09</u>								
体貌と骨格	-.26	-.12	-.10	-.09	-.09	<u>0.29</u>							
決定得点	-.25	-.03	.03	.05	.06	.81	<u>0.24</u>						
高さ	-.38	-.17	-.14	-.13	-.12	.77	.76	<u>0.47</u>					
胸の幅	-.53	-.25	-.21	-.20	-.19	.78	.69	.83	<u>0.27</u>				
体の深さ	-.58	-.34	-.30	-.30	-.29	.74	.63	.78	.92	<u>0.34</u>			
坐骨幅	-.10	-.13	-.16	-.18	-.18	.57	.51	.56	.57	.55	<u>0.35</u>		
空胎日数	-.17	-.43	-.49	-.51	-.51	-.02	.02	.00	.04	.17	.13	<u>0.09</u>	
受胎率	.37	.53	.54	.55	.54	.02	.00	-.02	-.08	-.21	-.08	-.85	<u>0.06</u>

表10-7. 放し飼いに於ける眞の生産期間および体型形質に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	TPL 36	TPL 48	TPL 60	TPL 72	TPL 84	体貌 骨格	決定 得点	高さ	胸の 幅	体の 深さ	坐骨 幅	空胎 日数	受胎 率
TPL36	<u>0.13</u>												
TPL48	.83	<u>0.05</u>											
TPL60	.41	.84	<u>0.05</u>										
TPL72	.22	.70	.97	<u>0.07</u>									
TPL84	.16	.64	.95	.99	<u>0.08</u>								
体貌と骨格	.13	.02	-.14	-.17	-.18	<u>0.28</u>							
決定得点	.19	.18	.09	.05	.04	.76	<u>0.23</u>						
高さ	.12	-.02	-.18	-.22	-.23	.82	.72	<u>0.48</u>					
胸の幅	.02	-.11	-.25	-.28	-.29	.80	.60	.85	<u>0.26</u>				
体の深さ	.03	-.14	-.31	-.35	-.36	.79	.53	.80	.94	<u>0.31</u>			
坐骨幅	.08	-.07	-.23	-.28	-.29	.58	.47	.56	.55	.53	<u>0.33</u>		
空胎日数	.91	.63	.19	-.01	-.07	.15	.19	.15	.08	.15	.13	<u>0.09</u>	
受胎率	-.87	-.56	-.11	.08	.13	-.21	-.22	-.22	-.17	-.21	-.15	-.93	<u>0.09</u>

表10-8. 放し飼いに於ける機能的生産期間および体型形質に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	FPL 36	FPL 48	FPL 60	FPL 72	FPL 84	体貌 骨格	決定 得点	高さ	胸の 幅	体の 深さ	坐骨 幅	空胎 日数	受胎 率
FPL36	<u>0.11</u>												
FPL48	.75	<u>0.04</u>											
FPL60	.33	.84	<u>0.06</u>										
FPL72	.17	.74	.98	<u>0.08</u>									
FPL84	.13	.71	.97	1.00	<u>0.09</u>								
体貌と骨格	.12	-.02	-.15	-.18	-.19	<u>0.28</u>							
決定得点	.18	.14	.05	.02	.02	.76	<u>0.22</u>						
高さ	.10	-.07	-.21	-.23	-.23	.82	.72	<u>0.48</u>					
胸の幅	.00	-.16	-.27	-.29	-.30	.80	.60	.85	<u>0.26</u>				
体の深さ	-.02	-.22	-.33	-.36	-.36	.79	.53	.79	.94	<u>0.31</u>			
坐骨幅	.06	-.12	-.24	-.28	-.29	.58	.47	.56	.55	.53	<u>0.33</u>		
空胎日数	.87	.45	.03	-.12	-.15	.13	.19	.14	.07	.12	.12	<u>0.09</u>	
受胎率	-.85	-.42	.01	.15	.18	-.20	-.21	-.21	-.16	-.18	-.15	-.92	<u>0.08</u>

表10-9. 放し飼いに於ける眞の在群期間および体型形質に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	THL 36	THL 48	THL 60	THL 72	THL 84	体貌 骨格	決定 得点	高さ	胸の 幅	体の 深さ	坐骨 幅	空胎 日数	受胎 率
THL36	<u>0.00</u>												
THL48	.90	<u>0.02</u>											
THL60	.88	.99	<u>0.05</u>										
THL72	.87	.97	.99	<u>0.07</u>									
THL84	.85	.95	.98	1.00	<u>0.08</u>								
体貌と骨格	-.31	-.21	-.21	-.21	-.21	<u>0.28</u>							
決定得点	-.17	-.01	-.01	-.02	-.02	.76	<u>0.23</u>						
高さ	-.27	-.26	-.25	-.25	-.25	.82	.72	<u>0.48</u>					
胸の幅	-.30	-.29	-.28	-.29	-.30	.80	.60	.85	<u>0.26</u>				
体の深さ	-.30	-.32	-.34	-.35	-.36	.78	.53	.80	.94	<u>0.31</u>			
坐骨幅	-.23	-.26	-.28	-.29	-.30	.59	.48	.57	.55	.53	<u>0.33</u>		
空胎日数	-.05	-.25	-.32	-.37	-.39	.08	.08	.10	.14	.28	.14	<u>0.06</u>	
受胎率	.17	.43	.46	.48	.49	-.18	-.12	-.20	-.27	-.37	-.18	-.81	<u>0.05</u>

表10-10. 放し飼いに於ける機能的在群期間および体型形質に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	FHL 36	FHL 48	FHL 60	FHL 72	FHL 84	体貌 骨格	決定 得点	高さ	胸の 幅	体の 深さ	坐骨 幅	空胎 日数	受胎 率
FHL36	<u>0.01</u>												
FHL48	.87	<u>0.03</u>											
FHL60	.77	.97	<u>0.05</u>										
FHL72	.71	.93	.99	<u>0.07</u>									
FHL84	.66	.91	.98	1.00	<u>0.09</u>								
体貌と骨格	-.24	-.22	-.21	-.21	-.20	<u>0.28</u>							
決定得点	-.24	-.11	-.04	-.03	-.01	.76	<u>0.23</u>						
高さ	-.36	-.30	-.27	-.26	-.25	.82	.72	<u>0.48</u>					
胸の幅	-.30	-.28	-.28	-.28	-.29	.80	.60	.85	<u>0.26</u>				
体の深さ	-.26	-.33	-.34	-.35	-.36	.78	.53	.79	.94	<u>0.31</u>			
坐骨幅	-.24	-.30	-.28	-.28	-.29	.59	.47	.56	.55	.52	<u>0.33</u>		
空胎日数	-.14	-.29	-.36	-.41	-.42	.07	.09	.10	.12	.27	.14	<u>0.06</u>	
受胎率	.29	.48	.51	.52	.51	-.17	-.11	-.19	-.24	-.35	-.18	-.80	<u>0.05</u>

4. 参考文献

- 1) 河原孝吉, 鈴木三義, 池内豊. 1996. ホルスタイン種牛集団における産乳と体型形質および長命性の遺伝的パラメータ. 日畜会報. 67: 463-475.
- 2) 萩谷功一, 大澤剛史, 増田豊, 鈴木三義, 山崎武志, 長峰慶隆, 富樫研治. 2012. ホルスタイン種における在群期間と泌乳・体型形質の遺伝相関の年代的な変化. 日畜会報. 83: 1-19
- 3) Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). Proc. 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Montpellier, France. CD-ROM communication 28:07.
- 4) Tsuruta S, Misztal I, Lawlor TJ. 2004. Genetic correlations among production, body size, udder, and productive life traits over time in Holsteins. J. Dairy Sci. 87: 1457-1468.
- 5) Schaeffer L.R. Strategy for applying genome-wide selection in dairy cattle. J. Anim. Breed. Genet. 2006; 123: 218-223
- 6) Weigel KA, Gianola D. 1993. A computationally simple bayesian method for estimation of heterogeneous within-herd phenotypic variances. J. Dairy Sci. 76: 1455-1465.
- 7) Zink V, Štípková M, Lassen J. 2011. Genetic parameters for female fertility, locomotion, body condition score, and linear type traits in Czech Holstein cattle. J. Dairy Sci. 94 :5176-5182.

附表10-1. 繋ぎ飼いにおける真の生産期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	TPL36	TPL48	TPL60	TPL72	TPL84	体貌と 骨格	決定 得点	高さ	胸の幅	体の 深さ	坐骨幅	空胎 日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）													
TPL36	<u>0.613</u>												
TPL48	0.642	<u>0.784</u>											
TPL60	0.654	1.038	<u>1.921</u>										
TPL72	0.685	1.406	3.161	<u>5.671</u>									
TPL84	0.726	1.783	4.421	8.222	<u>12.125</u>								
体貌と骨格	6.17E-2	6.51E-3	-0.116	-0.248	-0.406	<u>1.693</u>							
決定得点	0.171	0.180	0.197	0.288	0.366	1.143	<u>1.213</u>						
高さ	5.06E-2	6.81E-3	-9.67E-2	-0.200	-0.316	0.892	0.746	<u>0.786</u>					
胸の幅	2.63E-3	-3.89E-2	-0.142	-0.254	-0.398	0.672	0.505	0.487	<u>0.433</u>				
体の深さ	-4.88E-3	-8.47E-2	-0.253	-0.480	-0.725	0.734	0.525	0.520	0.456	<u>0.568</u>			
坐骨幅	2.89E-2	-1.83E-2	-0.151	-0.323	-0.518	0.606	0.452	0.407	0.309	0.341	<u>0.675</u>		
空胎日数	23.618	20.741	13.922	4.984	-2.991	2.936	7.539	2.601	1.279	2.853	3.258	<u>1.21E+3</u>	
受胎率	-0.231	-0.205	-0.149	-7.41E-2	-9.89E-3	-3.04E-2	-7.11E-2	-2.75E-2	-1.49E-2	-2.79E-2	-1.90E-2	-10.774	<u>0.110</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）													
TPL36	<u>3.729</u>												
TPL48	3.256	<u>8.976</u>											
TPL60	3.004	12.795	<u>30.081</u>										
TPL72	2.797	15.616	42.169	<u>71.618</u>									
TPL84	2.652	17.325	49.682	90.178	<u>1.25E+2</u>								
体貌と骨格	-8.58E-2	6.10E-2	0.281	0.491	0.685	<u>4.093</u>							
決定得点	8.59E-4	0.254	0.656	1.098	1.483	2.336	<u>3.904</u>						
高さ	-5.24E-2	-3.15E-2	-1.87E-2	-3.97E-2	-7.32E-2	0.742	0.572	<u>0.883</u>					
胸の幅	-5.55E-2	-4.08E-2	-6.50E-2	-0.138	-0.193	0.931	0.666	0.437	<u>1.194</u>				
体の深さ	5.09E-2	6.25E-2	3.20E-2	-3.94E-2	-0.119	0.853	0.669	0.429	0.625	<u>1.095</u>			
坐骨幅	-4.05E-2	-2.31E-2	-2.39E-2	-5.89E-2	-8.88E-2	0.630	0.448	0.255	0.315	0.302	<u>1.257</u>		
空胎日数	1.43E+2	75.463	48.510	21.105	-0.960	-6.712	-4.274	-2.484	-3.311	1.051	-1.980	<u>9.97E+3</u>	
受胎率	-1.334	-0.684	-0.387	-0.122	8.76E-2	5.16E-2	1.74E-2	1.75E-2	2.42E-2	-1.61E-2	9.74E-3	-92.119	<u>1.000</u>

附表10-2. 繋ぎ飼いにおける機能的生産期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	FPL36	FPL48	FPL60	FPL72	FPL84	体貌と 骨格	決定 得点	高さ	胸の幅	体の 深さ	坐骨幅	空胎 日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）													
FPL36	<u>0.512</u>												
FPL48	0.483	<u>0.610</u>											
FPL60	0.467	0.908	<u>1.935</u>										
FPL72	0.482	1.341	3.350	<u>6.135</u>									
FPL84	0.545	1.797	4.772	8.922	<u>13.107</u>								
体貌と骨格	4.01E-2	-1.10E-2	-0.131	-0.288	-0.442	<u>1.688</u>							
決定得点	0.143	0.144	0.167	0.217	0.305	1.139	<u>1.194</u>						
高さ	3.35E-2	-1.11E-2	-0.114	-0.255	-0.373	0.889	0.737	<u>0.784</u>					
胸の幅	-1.22E-2	-6.04E-2	-0.172	-0.320	-0.470	0.672	0.500	0.487	<u>0.436</u>				
体の深さ	-3.51E-2	-0.129	-0.316	-0.581	-0.835	0.731	0.521	0.517	0.457	<u>0.570</u>			
坐骨幅	5.74E-3	-3.67E-2	-0.169	-0.370	-0.551	0.601	0.452	0.405	0.308	0.341	<u>0.674</u>		
空胎日数	19.560	12.624	1.953	-10.903	-20.125	1.706	5.809	1.790	0.616	1.926	2.345	<u>1.12E+3</u>	
受胎率	-0.195	-0.135	-4.36E-2	6.77E-2	0.148	-1.48E-2	-5.05E-2	-1.91E-2	-8.29E-3	-1.95E-2	-1.15E-2	-9.900	<u>0.102</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）													
FPL36	<u>3.652</u>												
FPL48	3.114	<u>8.742</u>											
FPL60	2.786	12.413	<u>29.448</u>										
FPL72	2.515	15.100	41.298	<u>70.418</u>									
FPL84	2.327	16.719	48.647	88.747	<u>1.23E+2</u>								
体貌と骨格	-0.244	-0.142	4.73E-2	0.246	0.426	<u>4.105</u>							
決定得点	-0.294	-0.119	0.216	0.629	0.976	2.348	<u>3.922</u>						
高さ	-0.122	-0.120	-0.120	-0.127	-0.162	0.748	0.583	<u>0.886</u>					
胸の幅	-0.130	-0.130	-0.160	-0.219	-0.272	0.936	0.675	0.440	<u>1.195</u>				
体の深さ	-7.56E-2	-9.05E-2	-0.133	-0.200	-0.283	0.859	0.675	0.432	0.627	<u>1.095</u>			
坐骨幅	-0.126	-0.136	-0.153	-0.183	-0.228	0.638	0.453	0.258	0.318	0.304	<u>1.260</u>		
空胎日数	1.36E+2	66.245	37.825	9.820	-12.748	-10.795	-12.177	-4.270	-5.263	-2.596	-4.239	<u>9.64E+3</u>	
受胎率	-1.288	-0.598	-0.281	-5.29E-3	0.210	8.81E-2	8.93E-2	3.41E-2	4.27E-2	1.85E-2	3.20E-2	-90.334	<u>1.000</u>

附表10-3. 繋ぎ飼いにおける真の在群期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	THL36	THL48	THL60	THL72	THL84	体貌と骨格	決定得点	高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅	空胎日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）													
THL36	<u>5.58E-4</u>												
THL48	5.34E-3	<u>0.103</u>											
THL60	1.66E-2	0.375	<u>1.461</u>										
THL72	3.22E-2	0.775	3.066	<u>6.530</u>									
THL84	4.85E-2	1.193	4.741	10.175	<u>15.984</u>								
体貌と骨格	-6.82E-3	-6.84E-2	-0.188	-0.339	-0.502	<u>1.698</u>							
決定得点	-8.89E-3	-2.40E-2	7.93E-3	0.100	0.218	1.147	<u>1.204</u>						
高さ	-9.49E-3	-6.35E-2	-0.171	-0.298	-0.424	0.893	0.744	<u>0.786</u>					
胸の幅	-8.59E-3	-5.77E-2	-0.171	-0.314	-0.476	0.672	0.505	0.487	<u>0.435</u>				
体の深さ	-9.76E-3	-8.77E-2	-0.273	-0.547	-0.838	0.733	0.525	0.519	0.457	<u>0.569</u>			
坐骨幅	-4.29E-3	-5.24E-2	-0.190	-0.391	-0.613	0.607	0.453	0.406	0.308	0.340	<u>0.676</u>		
空胎日数	-5.94E-2	-3.441	-13.835	-30.274	-47.339	-0.116	0.969	0.180	0.798	3.171	2.694	<u>6.08E+2</u>	
受胎率	1.79E-3	4.78E-2	0.164	0.346	0.531	-2.89E-4	-6.48E-3	-4.88E-3	-1.25E-2	-3.76E-2	-1.72E-2	-5.481	<u>6.79E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）													
THL36	<u>0.154</u>												
THL48	0.541	<u>6.481</u>											
THL60	0.840	13.006	<u>36.857</u>										
THL72	1.043	17.411	55.939	<u>99.602</u>									
THL84	1.168	20.079	67.508	1.29E+2	<u>1.82E+2</u>								
体貌と骨格	1.17E-2	0.163	0.434	0.707	0.939	<u>4.089</u>							
決定得点	2.45E-2	0.288	0.802	1.395	1.901	2.334	<u>3.907</u>						
高さ	8.59E-3	4.43E-2	7.37E-2	5.79E-2	1.08E-2	0.742	0.574	<u>0.883</u>					
胸の幅	6.57E-3	1.27E-2	-1.52E-2	-9.35E-2	-0.169	0.931	0.667	0.436	<u>1.192</u>				
体の深さ	7.21E-3	2.52E-2	9.09E-3	-5.92E-2	-0.155	0.853	0.669	0.429	0.624	<u>1.093</u>			
坐骨幅	6.61E-4	2.06E-2	1.35E-2	-3.59E-2	-8.03E-2	0.629	0.448	0.255	0.315	0.303	<u>1.256</u>		
空胎日数	0.471	-5.012	-18.704	-36.459	-53.418	-3.364	-3.379	-0.321	-1.404	-0.638	-0.981	<u>5.73E+3</u>	
受胎率	1.18E-2	0.161	0.372	0.598	0.810	2.36E-2	7.71E-3	-4.07E-3	7.31E-3	-9.50E-4	4.82E-4	-65.699	<u>1.000</u>

附表10-4. 繋ぎ飼いにおける機能的在群期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	FHL36	FHL48	FHL60	FHL72	FHL84	体貌と骨格	決定得点	高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅	空胎日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）													
FHL36	<u>5.07E-4</u>												
FHL48	5.13E-3	<u>0.115</u>											
FHL60	1.61E-2	0.423	<u>1.644</u>										
FHL72	3.10E-2	0.864	3.404	<u>7.126</u>									
FHL84	4.54E-2	1.307	5.203	10.978	<u>17.031</u>								
体貌と骨格	-7.52E-3	-5.48E-2	-0.160	-0.318	-0.476	<u>1.700</u>							
決定得点	-6.10E-3	-9.78E-3	4.67E-2	0.133	0.255	1.160	<u>1.217</u>						
高さ	-7.61E-3	-5.27E-2	-0.157	-0.309	-0.445	0.895	0.747	<u>0.790</u>					
胸の幅	-7.95E-3	-5.62E-2	-0.176	-0.349	-0.529	0.673	0.505	0.489	<u>0.438</u>				
体の深さ	-9.81E-3	-8.71E-2	-0.286	-0.594	-0.900	0.732	0.527	0.520	0.457	<u>0.568</u>			
坐骨幅	-1.77E-3	-3.65E-2	-0.169	-0.389	-0.606	0.605	0.462	0.408	0.308	0.339	<u>0.675</u>		
空胎日数	-9.20E-2	-3.556	-15.371	-33.264	-51.005	-0.600	0.442	-6.47E-2	0.593	3.066	2.548	<u>5.98E+2</u>	
受胎率	2.13E-3	4.55E-2	0.175	0.372	0.568	7.24E-3	3.84E-5	-3.47E-3	-1.32E-2	-4.10E-2	-1.77E-2	-5.294	<u>6.47E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）													
FHL36	<u>0.154</u>												
FHL48	0.539	<u>6.455</u>											
FHL60	0.835	12.927	<u>36.615</u>										
FHL72	1.037	17.277	55.525	<u>98.911</u>									
FHL84	1.161	19.911	66.966	1.28E+2	<u>1.81E+2</u>								
体貌と骨格	1.01E-2	0.130	0.353	0.595	0.806	<u>4.087</u>							
決定得点	1.80E-2	0.231	0.652	1.178	1.641	2.325	<u>3.899</u>						
高さ	6.40E-3	2.69E-2	3.82E-2	2.43E-2	-2.11E-2	0.740	0.572	<u>0.881</u>					
胸の幅	5.17E-3	1.39E-3	-3.90E-2	-0.111	-0.180	0.929	0.667	0.435	<u>1.190</u>				
体の深さ	5.47E-3	5.37E-3	-3.24E-2	-0.105	-0.203	0.854	0.667	0.429	0.624	<u>1.094</u>			
坐骨幅	-2.30E-3	-3.75E-3	-3.57E-2	-9.06E-2	-0.147	0.630	0.442	0.254	0.315	0.303	<u>1.257</u>		
空胎日数	0.393	-6.048	-20.481	-38.684	-55.754	-3.044	-3.025	-0.163	-1.270	-0.576	-0.885	<u>5.73E+3</u>	
受胎率	1.28E-2	0.176	0.399	0.632	0.843	1.85E-2	3.25E-3	-5.03E-3	7.85E-3	1.55E-3	7.87E-4	-65.760	<u>1.000</u>

附表10-5. 放し飼いに於ける眞の生産期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	TPL36	TPL48	TPL60	TPL72	TPL84	体貌と骨格	決定得点	高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅	空胎日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）													
TPL36	<u>0.529</u>												
TPL48	0.461	<u>0.585</u>											
TPL60	0.433	0.926	<u>2.087</u>										
TPL72	0.399	1.345	3.506	<u>6.230</u>									
TPL84	0.397	1.732	4.794	8.713	<u>12.330</u>								
体貌と骨格	0.122	1.86E-2	-0.262	-0.570	-0.824	<u>1.711</u>							
決定得点	0.165	0.162	0.157	0.139	0.145	1.160	<u>1.377</u>						
高さ	7.67E-2	-1.08E-2	-0.227	-0.478	-0.704	0.950	0.751	<u>0.792</u>					
胸の幅	9.39E-3	-5.70E-2	-0.243	-0.468	-0.681	0.699	0.469	0.508	<u>0.447</u>				
体の深さ	1.39E-2	-7.69E-2	-0.327	-0.637	-0.925	0.754	0.460	0.520	0.462	<u>0.539</u>			
坐骨幅	4.55E-2	-4.06E-2	-0.271	-0.559	-0.829	0.615	0.448	0.405	0.296	0.312	<u>0.648</u>		
空胎日数	21.314	15.575	8.937	-0.645	-7.954	6.175	7.318	4.417	1.824	3.463	3.315	<u>1.05E+3</u>	
受胎率	-0.196	-0.133	-4.71E-2	5.85E-2	0.140	-8.49E-2	-7.85E-2	-5.94E-2	-3.59E-2	-4.77E-2	-3.82E-2	-9.223	<u>9.51E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）													
TPL36	<u>3.685</u>												
TPL48	3.437	<u>11.090</u>											
TPL60	3.316	16.356	<u>37.267</u>										
TPL72	3.231	19.755	51.139	<u>82.685</u>									
TPL84	3.135	21.577	58.900	1.01E+2	<u>1.34E+2</u>								
体貌と骨格	-0.264	-0.104	6.90E-2	0.292	0.383	<u>4.407</u>							
決定得点	-0.146	0.120	0.487	0.908	1.171	2.541	<u>4.599</u>						
高さ	-0.109	-8.03E-2	-8.43E-2	-9.34E-2	-0.139	0.801	0.594	<u>0.861</u>					
胸の幅	-0.113	-9.17E-2	-0.131	-0.165	-0.236	1.074	0.742	0.474	<u>1.281</u>				
体の深さ	-1.75E-2	6.63E-3	-1.24E-2	-4.98E-2	-0.141	0.984	0.765	0.469	0.686	<u>1.179</u>			
坐骨幅	-4.50E-2	-1.14E-2	1.71E-2	3.91E-2	3.66E-2	0.736	0.487	0.287	0.358	0.360	<u>1.318</u>		
空胎日数	1.43E+2	79.945	53.043	31.216	12.933	-14.086	-10.496	-4.764	-5.587	-1.709	-1.706	<u>1.00E+4</u>	
受胎率	-1.313	-0.647	-0.333	-0.100	7.25E-2	0.144	8.61E-2	5.32E-2	5.21E-2	2.09E-2	1.82E-2	-92.217	<u>1.000</u>

附表10-6. 放し飼いに於ける機能的生産期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	FPL36	FPL48	FPL60	FPL72	FPL84	体貌と骨格	決定得点	高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅	空胎日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）													
FPL36	<u>0.454</u>												
FPL48	0.354	<u>0.486</u>											
FPL60	0.320	0.856	<u>2.133</u>										
FPL72	0.296	1.337	3.738	<u>6.768</u>									
FPL84	0.317	1.794	5.189	9.474	<u>13.316</u>								
体貌と骨格	0.102	-1.68E-2	-0.287	-0.615	-0.885	<u>1.695</u>							
決定得点	0.144	0.113	7.82E-2	7.25E-2	0.105	1.140	<u>1.340</u>						
高さ	5.95E-2	-4.50E-2	-0.277	-0.536	-0.758	0.944	0.744	<u>0.789</u>					
胸の幅	2.08E-3	-7.24E-2	-0.263	-0.500	-0.720	0.696	0.465	0.506	<u>0.446</u>				
体の深さ	-8.98E-3	-0.112	-0.360	-0.682	-0.980	0.753	0.452	0.519	0.462	<u>0.542</u>			
坐骨幅	2.98E-2	-6.59E-2	-0.284	-0.586	-0.861	0.609	0.440	0.401	0.294	0.311	<u>0.646</u>		
空胎日数	18.080	9.659	1.286	-9.675	-16.783	5.358	6.694	3.936	1.484	2.785	3.043	<u>9.51E+2</u>	
受胎率	-0.170	-8.73E-2	6.35E-3	0.118	0.194	-7.73E-2	-7.31E-2	-5.41E-2	-3.07E-2	-3.97E-2	-3.48E-2	-8.416	<u>8.79E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）													
FPL36	<u>3.627</u>												
FPL48	3.303	<u>10.831</u>											
FPL60	3.103	15.958	<u>36.619</u>										
FPL72	2.965	19.244	50.251	<u>81.442</u>									
FPL84	2.843	20.998	57.857	99.711	<u>1.32E+2</u>								
体貌と骨格	-0.424	-0.311	-0.189	2.11E-2	0.114	<u>4.435</u>							
決定得点	-0.427	-0.251	4.99E-2	0.399	0.615	2.575	<u>4.645</u>						
高さ	-0.166	-0.148	-0.155	-0.166	-0.214	0.811	0.607	<u>0.866</u>					
胸の幅	-0.183	-0.181	-0.231	-0.265	-0.332	1.084	0.755	0.479	<u>1.286</u>				
体の深さ	-0.133	-0.145	-0.197	-0.244	-0.332	0.994	0.778	0.473	0.690	<u>1.180</u>			
坐骨幅	-0.123	-0.112	-0.114	-9.55E-2	-9.70E-2	0.746	0.498	0.291	0.362	0.363	<u>1.321</u>		
空胎日数	1.38E+2	72.756	43.648	20.877	2.045	-18.393	-18.493	-6.395	-7.451	-5.016	-4.041	<u>9.80E+3</u>	
受胎率	-1.281	-0.577	-0.235	1.51E-2	0.197	0.185	0.161	6.79E-2	6.81E-2	5.03E-2	3.92E-2	-91.070	<u>1.000</u>

附表10-7. 放し飼いにける真の在群期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	THL36	THL48	THL60	THL72	THL84	体貌と 骨格	決定 得点	高さ	胸の幅	体の 深さ	坐骨幅	空胎 日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）													
THL36	<u>1.19E-3</u>												
THL48	1.43E-2	<u>0.212</u>											
THL60	4.55E-2	0.682	<u>2.230</u>										
THL72	8.65E-2	1.294	4.274	<u>8.330</u>									
THL84	0.123	1.843	6.128	12.069	<u>17.637</u>								
体貌と骨格	-1.40E-2	-0.126	-0.409	-0.807	-1.135	<u>1.727</u>							
決定得点	-6.82E-3	-4.60E-3	-9.32E-3	-6.96E-2	-9.31E-2	1.176	<u>1.390</u>						
高さ	-8.39E-3	-0.105	-0.333	-0.653	-0.942	0.959	0.759	<u>0.797</u>					
胸の幅	-6.92E-3	-8.86E-2	-0.283	-0.564	-0.835	0.704	0.476	0.511	<u>0.448</u>				
体の深さ	-7.50E-3	-0.109	-0.369	-0.750	-1.121	0.754	0.462	0.521	0.461	<u>0.539</u>			
坐骨幅	-6.40E-3	-9.68E-2	-0.338	-0.682	-1.014	0.621	0.455	0.407	0.296	0.311	<u>0.649</u>		
空胎日数	-3.50E-2	-2.307	-9.454	-21.340	-32.600	2.114	1.830	1.776	1.834	4.091	2.254	<u>3.93E+2</u>	
受胎率	1.36E-3	4.67E-2	0.165	0.333	0.488	-5.79E-2	-3.41E-2	-4.29E-2	-4.31E-2	-6.51E-2	-3.49E-2	-3.816	<u>5.69E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）													
THL36	<u>0.284</u>												
THL48	0.909	<u>9.135</u>											
THL60	1.338	17.274	<u>45.655</u>										
THL72	1.598	22.293	66.610	<u>1.13E+2</u>									
THL84	1.735	25.031	78.233	1.41E+2	<u>1.91E+2</u>								
体貌と骨格	1.67E-2	0.161	0.379	0.662	0.798	<u>4.390</u>							
決定得点	2.40E-2	0.258	0.735	1.290	1.671	2.528	<u>4.590</u>						
高さ	5.77E-3	4.81E-2	5.52E-2	5.43E-2	2.02E-2	0.792	0.588	<u>0.857</u>					
胸の幅	3.27E-3	2.55E-2	-1.11E-2	-5.95E-2	-0.144	1.067	0.736	0.472	<u>1.278</u>				
体の深さ	5.41E-3	3.86E-2	2.88E-2	-6.88E-3	-9.94E-2	0.984	0.763	0.468	0.686	<u>1.178</u>			
坐骨幅	5.27E-3	5.82E-2	9.82E-2	0.124	0.126	0.732	0.482	0.285	0.357	0.360	<u>1.317</u>		
空胎日数	1.443	0.362	-12.727	-29.046	-44.987	-5.942	-5.738	-1.331	-2.436	-1.966	-0.563	<u>5.78E+3</u>	
受胎率	1.47E-2	0.167	0.410	0.647	0.842	8.47E-2	5.24E-2	2.66E-2	2.77E-2	2.84E-2	9.39E-3	-65.989	<u>1.000</u>

附表10-8. 放し飼いにける機能的在群期間および体型形質に関する遺伝的パラメータ

	FHL36	FHL48	FHL60	FHL72	FHL84	体貌と 骨格	決定 得点	高さ	胸の幅	体の 深さ	坐骨幅	空胎 日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）													
FHL36	<u>1.94E-3</u>												
FHL48	1.87E-2	<u>0.236</u>											
FHL60	5.16E-2	0.718	<u>2.336</u>										
FHL72	9.27E-2	1.343	4.492	<u>8.764</u>									
FHL84	0.126	1.898	6.455	12.687	<u>18.476</u>								
体貌と骨格	-1.41E-2	-0.140	-0.418	-0.804	-1.124	<u>1.717</u>							
決定得点	-1.25E-2	-6.07E-2	-7.98E-2	-9.32E-2	-6.84E-2	1.173	<u>1.379</u>						
高さ	-1.42E-2	-0.128	-0.372	-0.688	-0.968	0.954	0.758	<u>0.794</u>					
胸の幅	-8.88E-3	-8.96E-2	-0.282	-0.559	-0.825	0.702	0.474	0.508	<u>0.446</u>				
体の深さ	-8.38E-3	-0.117	-0.379	-0.762	-1.137	0.755	0.457	0.520	0.462	<u>0.541</u>			
坐骨幅	-8.65E-3	-0.119	-0.342	-0.674	-0.996	0.617	0.449	0.405	0.296	0.310	<u>0.648</u>		
空胎日数	-0.127	-2.864	-11.083	-24.410	-36.159	1.941	2.025	1.721	1.631	3.909	2.216	<u>3.99E+2</u>	
受胎率	3.00E-3	5.51E-2	0.184	0.360	0.513	-5.23E-2	-3.10E-2	-4.00E-2	-3.76E-2	-5.99E-2	-3.48E-2	-3.770	<u>5.53E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）													
FHL36	<u>0.283</u>												
FHL48	0.901	<u>9.078</u>											
FHL60	1.323	17.156	<u>45.362</u>										
FHL72	1.579	22.129	66.141	<u>1.12E+2</u>									
FHL84	1.716	24.845	77.636	1.40E+2	<u>1.89E+2</u>								
体貌と骨格	1.20E-2	0.127	0.281	0.518	0.634	<u>4.396</u>							
決定得点	1.93E-2	0.215	0.586	1.025	1.334	2.529	<u>4.597</u>						
高さ	8.29E-3	4.93E-2	4.88E-2	3.53E-2	-6.65E-3	0.796	0.589	<u>0.859</u>					
胸の幅	2.94E-3	8.89E-3	-5.10E-2	-0.114	-0.204	1.068	0.737	0.473	<u>1.279</u>				
体の深さ	2.88E-3	1.40E-2	-3.54E-2	-9.38E-2	-0.191	0.984	0.766	0.469	0.686	<u>1.177</u>			
坐骨幅	4.66E-3	5.26E-2	5.21E-2	5.21E-2	4.21E-2	0.734	0.486	0.287	0.357	0.361	<u>1.318</u>		
空胎日数	1.404	-0.335	-14.100	-30.194	-45.972	-5.819	-5.882	-1.291	-2.291	-1.841	-0.534	<u>5.78E+3</u>	
受胎率	1.47E-2	0.173	0.425	0.665	0.862	8.08E-2	5.04E-2	2.47E-2	2.38E-2	2.49E-2	9.29E-3	-65.979	<u>1.000</u>

第11章 最適な体のサイズに選抜するための指数（体のサイズ指数）の開発

1. はじめに

第9章では生産寿命と体のサイズの遺伝的関連を調査した。それによると、ホルスタインの体のサイズが顕著に大型化していなかった時代、生産寿命と体のサイズの遺伝相関は無相関であった。しかし、2000年代以降、体のサイズが大型化してくると、生産寿命と体のサイズの間には負の遺伝相関が明らかになった。すなわち、体のサイズが一定以上大型化方向に選抜する行為は、間接反応によって生産寿命が短縮化する可能性を示唆している。さらに、第4章では高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅の各線形スコアにおいて中程度(スコア 5 付近)以上になると淘汰のリスクが上昇することも明らかにした。また、この淘汰のリスク比は、繋ぎ飼い集団と放し飼い集団において若干の差異が認められることも判明した。

本章での分析の目的は、以上の分析結果に基づき、繋ぎ飼い集団と放し飼い集団にそれぞれ適した体のサイズに選抜するための指数を開発することである。

2. 材料と方法

体のサイズ指数は繋ぎ飼いと放し飼いの2集団のそれぞれで作成した。高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅に対する重み付けは、第10章において推定した形質間の遺伝分散共分散行列を使用して主成分分析を行い、その結果に基づき算出した。また、体のサイズ指数は生産寿命が期待できる最適な体のサイズに選抜する指数であるが、具体的には体のサイズを現状より小さくする選抜になることから、それによる体貌と骨格や決定得点の低下を極力抑制できるような指数を開発方針とした。

3. 結果と考察

(1) 線形成分の重み付け

表 11-1 と表 11-2 には、主成分分析によって推定されたそれぞれ繋ぎ飼い集団と放し飼い集団における高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅の固有値と固有ベクトルを示した。第1主成分の寄与率は繋ぎ飼い集団において77%、放し飼い集団において78%あり、しかも4つの線形形質に対する固有ベクトルがいずれも正值を示したことから、体の大きさに関する重み付けは第1主成分の固有ベクトルの割合から設定した。繋ぎ飼い集団の場合、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅の重み付けはそれぞれ33%、22%、23%および22%、放し飼い集団の場合は同様にそれぞれ36%、22%、22%および20%の重み付けとした。高さ重み付けは繋ぎ飼い集団において大きく、一方で放し飼い集団における坐骨幅の重み付けは繋ぎ飼い集団と比較し、配分が少なかった。

表11-1. 繋ぎ飼い集団における固有値および固有ベクトル

成分	固有値	寄与率	固有ベクトル			
			高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅
1	1.899	77%	0.652	0.446	0.459	0.448
2	0.367	15%	-0.297	-0.217	-0.257	0.894
3	0.161	7%	-0.736	0.293	0.610	0.002
4	0.036	1%	-0.139	0.817	-0.559	-0.008
合計	2.462	100%				
第1主成分における固有ベクトルの割合			33%	22%	23%	22%

表11-2. 放し飼い集団における固有値および固有ベクトル

成分	固有値	寄与率	固有ベクトル			
			高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅
1	1.887	78%	0.654	0.408	0.400	0.362
2	0.368	15%	-0.240	-0.238	-0.272	0.901
3	0.146	6%	-0.748	0.303	0.587	0.059
4	0.025	1%	-0.134	0.801	-0.584	0.000
合計	2.427	100%				
第1主成分における固有ベクトルの割合			36%	22%	22%	20%

表11-3. 成牛選抜と若齢選抜で仮定した選抜の4経路における選抜強度、選抜の正確度および世代間隔

	雄牛の父	雄牛の母	雌牛の父	雌牛の母
成牛選抜(EBVを利用)				
選抜強度	2.06	2.42	1.40	0.27
選抜の正確度	0.99	0.75	0.60	0.50
世代間隔(年)	5.30	3.10	7.30	4.40
若齢選抜(ゲノミック評価を利用)				
選抜強度	2.06	2.42	1.40	0.27
選抜の正確度	0.75	0.75	0.75	0.50
世代間隔(年)	1.75	2.00	1.75	4.25

(2) 体貌と骨格の得率と線形成分の重み付け

表11-2には、成牛選抜と若齢選抜で仮定した選抜の4経路における選抜強度、選抜の正確度および世代間隔を示した。選抜強度は、成牛選抜と若齢選抜において違いがないものと仮定した。成牛選抜と若齢選抜における選抜の正確度および世代間隔は、Shaeffer (2006)の報告に基づき設定した。次に、体のサイズに関する4形質を固有ベクトルの割合により重み付けを負の重みとし、体貌と骨格と体のサイズの重みを1対

99から99対1まで重みの割合を移動させながら各形質の最適な遺伝改良量を調査した。

表 11-4 から表 11-11 には、成牛選抜下と若齢選抜下の繋ぎ飼いや集団に関して体貌と骨格と体のサイズの重みを26対74から34対66の割合まで移動した場合のTPL、THL、FPLあるいはFHLと繁殖性の年当たり遺伝改良量の変化を示した。これらの重み付けの範囲において生産寿命に関係する形質と決定得点は成牛選抜下と若齢選抜下のどちらにおいても0または正の改良量を示した。体貌と骨格は27対73と28対72の間で負から正の改良量に転じた。一方、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅はその時負の改良量を示した。空胎日数はその時0から-0.01の範囲、受胎率は0から+0.01の範囲の改良量を示した。繋ぎ飼いや集団では体貌と骨格と体のサイズの割合を28対72にした場合、体貌と骨格の改良を正方向に維持しながら、体のサイズの大型化を抑制できる可能性を示唆した。ゲノミック評価値を利用した若齢選抜では成牛選抜と比較して約2倍の改良量を示し、Schaeffer(2006)のシミュレーションと一致した。

表 11-12 から表 11-19 には成牛選抜下と若齢選抜下の放し飼いや集団に関して体貌と骨格と体のサイズの重みを26対74から34対66の割合まで移動した場合の生産寿命と繁殖性に関係する形質の年当たり遺伝改良量の変化を示した。生産寿命に関係する形質および決定得点は34対66を除いて成牛選抜下と若齢選抜下両方で0から正の改良量を示した。一方、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅は負の改良量を示した。体貌と骨格は、29対71の重みで改良量が0から-0.01、30対70以上体貌と骨格の重みを増やすと正の改良量になった。空胎日数の改良量は0、受胎率は0から-0.01の範囲にあった。繋ぎ飼いや集団に関しては、体貌と骨格と体のサイズの重みを30対70にすると、体貌と骨格の改良を維持しつつ、体のサイズの大型化を抑制できることが示唆された。

表11-4. 成牛選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のTPLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼いや集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
TPL36	.001	.001	.001	.001	.002	.002	.002	.002	.002
TPL48	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003
TPL60	.014	.013	.012	.011	.010	.010	.009	.008	.007
TPL72	.044	.041	.038	.035	.032	.029	.026	.023	.021
TPL84	.095	.088	.081	.074	.067	.061	.054	.048	.042
体貌と骨格	-.007	-.002	.003	.008	.012	.017	.021	.025	.029
決定得点	.010	.014	.018	.022	.026	.030	.034	.037	.041
高さ	-.016	-.013	-.009	-.006	-.003	-.001	.002	.005	.008
胸の幅	-.011	-.009	-.008	-.006	-.004	-.003	-.001	.001	.002
体の深さ	-.013	-.011	-.009	-.007	-.004	-.002	.000	.002	.004
坐骨幅	-.015	-.013	-.011	-.009	-.007	-.005	-.003	-.002	.000
空胎日数	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表11-5. 成牛選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のFPLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
FPL36	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
FPL48	.005	.005	.005	.005	.004	.004	.004	.004	.004
FPL60	.021	.020	.019	.017	.016	.015	.014	.013	.011
FPL72	.071	.066	.061	.056	.052	.047	.043	.039	.035
FPL84	.145	.134	.124	.113	.103	.094	.084	.075	.066
体貌と骨格	-.008	-.002	.004	.009	.014	.020	.025	.030	.035
決定得点	.012	.017	.022	.026	.031	.035	.040	.044	.048
高さ	-.019	-.015	-.012	-.008	-.004	-.001	.002	.006	.009
胸の幅	-.014	-.012	-.009	-.007	-.005	-.003	-.001	.001	.003
体の深さ	-.016	-.014	-.011	-.008	-.006	-.003	-.001	.002	.004
坐骨幅	-.019	-.017	-.014	-.012	-.009	-.007	-.005	-.002	.000
空胎日数	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表11-6. 成牛選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のTHLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
THL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
THL48	.002	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.000	.000
THL60	.021	.019	.017	.015	.013	.012	.010	.008	.007
THL72	.089	.081	.073	.066	.059	.052	.046	.040	.034
THL84	.212	.194	.176	.159	.143	.127	.112	.098	.084
体貌と骨格	-.010	-.003	.005	.012	.018	.025	.031	.038	.044
決定得点	.016	.023	.029	.035	.041	.047	.052	.057	.063
高さ	-.025	-.020	-.015	-.010	-.005	-.001	.004	.008	.012
胸の幅	-.018	-.015	-.012	-.009	-.007	-.004	-.001	.001	.003
体の深さ	-.021	-.018	-.014	-.010	-.007	-.004	-.001	.003	.005
坐骨幅	-.025	-.021	-.018	-.014	-.011	-.008	-.005	-.002	.001
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001

表11-7. 成牛選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のFHLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
FHL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FHL48	.002	.002	.002	.001	.001	.001	.001	.001	.001
FHL60	.028	.025	.023	.021	.019	.017	.015	.013	.011
FHL72	.125	.114	.104	.095	.086	.077	.069	.062	.054
FHL84	.292	.266	.243	.220	.200	.180	.161	.144	.127
体貌と骨格	-.012	-.003	.005	.012	.020	.027	.033	.040	.046
決定得点	.020	.027	.034	.040	.047	.053	.058	.064	.069
高さ	-.029	-.023	-.017	-.011	-.006	-.001	.004	.009	.013
胸の幅	-.021	-.017	-.014	-.011	-.007	-.004	-.002	.001	.004
体の深さ	-.025	-.020	-.016	-.012	-.008	-.004	-.001	.003	.006
坐骨幅	-.029	-.024	-.020	-.016	-.013	-.009	-.006	-.003	.000
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001

表11-8. 若齢選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のTPLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
TPL36	.002	.002	.003	.003	.003	.003	.004	.004	.004
TPL48	.006	.006	.006	.006	.006	.006	.006	.006	.005
TPL60	.027	.025	.023	.022	.020	.019	.017	.016	.014
TPL72	.085	.079	.073	.067	.062	.056	.051	.046	.040
TPL84	.185	.171	.157	.144	.131	.118	.105	.093	.081
体貌と骨格	-.013	-.003	.006	.015	.023	.032	.041	.049	.057
決定得点	.019	.027	.035	.043	.050	.058	.065	.072	.080
高さ	-.030	-.024	-.018	-.012	-.007	-.001	.004	.010	.015
胸の幅	-.022	-.018	-.015	-.012	-.008	-.005	-.002	.001	.004
体の深さ	-.026	-.021	-.017	-.013	-.009	-.005	-.001	.003	.007
坐骨幅	-.030	-.026	-.022	-.018	-.014	-.010	-.007	-.003	.000
空胎日数	-.001	-.001	-.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表11-9. 若齢選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のFPLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
FPL36	.004	.004	.004	.004	.004	.005	.005	.005	.005
FPL48	.010	.010	.009	.009	.009	.008	.008	.008	.007
FPL60	.041	.039	.036	.034	.031	.029	.027	.024	.022
FPL72	.138	.128	.118	.109	.100	.092	.083	.075	.067
FPL84	.281	.260	.240	.220	.201	.182	.164	.146	.129
体貌と骨格	-.015	-.004	.007	.018	.028	.038	.048	.058	.067
決定得点	.023	.033	.042	.051	.060	.069	.077	.086	.094
高さ	-.038	-.030	-.023	-.016	-.009	-.002	.005	.011	.017
胸の幅	-.027	-.023	-.018	-.014	-.010	-.006	-.002	.001	.005
体の深さ	-.032	-.026	-.021	-.016	-.011	-.006	-.001	.003	.008
坐骨幅	-.037	-.032	-.027	-.022	-.018	-.013	-.009	-.004	.000
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.001	.001	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表11-10. 若齢選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のTHLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
THL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
THL48	.003	.003	.002	.002	.002	.001	.001	.001	.001
THL60	.040	.036	.033	.029	.026	.022	.019	.016	.013
THL72	.172	.157	.142	.128	.115	.102	.089	.077	.066
THL84	.412	.376	.341	.308	.277	.247	.217	.189	.162
体貌と骨格	-.020	-.005	.009	.022	.036	.048	.061	.073	.085
決定得点	.032	.044	.056	.068	.080	.091	.101	.111	.121
高さ	-.049	-.039	-.029	-.019	-.010	-.001	.007	.015	.023
胸の幅	-.036	-.030	-.024	-.018	-.013	-.008	-.003	.002	.007
体の深さ	-.042	-.034	-.027	-.020	-.014	-.007	-.001	.005	.011
坐骨幅	-.048	-.041	-.035	-.028	-.022	-.016	-.010	-.004	.001
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.002	.002	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001

表11-11. 若齢選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のFHLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
FHL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FHL48	.004	.003	.003	.003	.002	.002	.002	.001	.001
FHL60	.054	.049	.045	.040	.036	.032	.029	.025	.022
FHL72	.243	.222	.202	.183	.166	.150	.134	.119	.105
FHL84	.566	.517	.471	.428	.387	.349	.313	.279	.246
体貌と骨格	-.022	-.006	.009	.024	.038	.052	.064	.077	.089
決定得点	.038	.052	.066	.078	.090	.102	.113	.124	.134
高さ	-.056	-.044	-.032	-.022	-.011	-.001	.008	.017	.025
胸の幅	-.041	-.034	-.027	-.020	-.014	-.009	-.003	.002	.007
体の深さ	-.048	-.039	-.031	-.023	-.015	-.008	-.001	.005	.011
坐骨幅	-.056	-.047	-.039	-.032	-.024	-.018	-.011	-.005	.001
空胎日数	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.001	-.001	-.001
受胎率	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002

表11-12. 成牛選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のTPLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
TPL36	.001	.001	.001	.001	.001	.002	.002	.002	.002
TPL48	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
TPL60	.008	.007	.006	.006	.005	.004	.004	.003	.002
TPL72	.024	.022	.019	.017	.014	.012	.009	.007	.004
TPL84	.051	.046	.041	.036	.031	.026	.021	.016	.011
体貌と骨格	-.007	-.005	-.002	.000	.002	.004	.006	.008	.010
決定得点	.006	.008	.010	.012	.014	.016	.017	.019	.021
高さ	-.011	-.009	-.008	-.007	-.005	-.004	-.003	-.001	.000
胸の幅	-.007	-.007	-.006	-.005	-.004	-.003	-.003	-.002	-.001
体の深さ	-.008	-.007	-.006	-.005	-.004	-.003	-.002	-.001	.000
坐骨幅	-.010	-.009	-.008	-.007	-.006	-.006	-.005	-.004	-.003
空胎日数	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表11-13. 成牛選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のFPLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
FPL36	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.002	.002
FPL48	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
FPL60	.009	.008	.007	.007	.006	.005	.004	.004	.003
FPL72	.027	.024	.021	.019	.016	.013	.010	.008	.005
FPL84	.054	.048	.043	.037	.032	.026	.021	.016	.010
体貌と骨格	-.006	-.004	-.002	.000	.002	.004	.006	.008	.010
決定得点	.005	.007	.009	.011	.013	.014	.016	.018	.020
高さ	-.011	-.009	-.008	-.007	-.005	-.004	-.003	-.001	.000
胸の幅	-.007	-.006	-.006	-.005	-.004	-.003	-.003	-.002	-.001
体の深さ	-.007	-.007	-.006	-.005	-.004	-.003	-.002	-.001	.000
坐骨幅	-.010	-.009	-.008	-.007	-.006	-.006	-.005	-.004	-.003
空胎日数	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表11-14. 成牛選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のTHLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
THL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
THL48	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
THL60	.006	.005	.004	.003	.003	.002	.001	.000	-.001
THL72	.024	.021	.017	.014	.011	.007	.004	.000	-.003
THL84	.058	.050	.043	.036	.029	.022	.015	.008	.001
体貌と骨格	-.006	-.004	-.002	.000	.001	.003	.005	.007	.009
決定得点	.006	.007	.009	.011	.012	.014	.016	.017	.019
高さ	-.009	-.008	-.007	-.006	-.005	-.003	-.002	-.001	.000
胸の幅	-.006	-.006	-.005	-.004	-.004	-.003	-.002	-.002	-.001
体の深さ	-.007	-.006	-.005	-.004	-.003	-.003	-.002	-.001	.000
坐骨幅	-.009	-.008	-.007	-.006	-.006	-.005	-.004	-.003	-.003
空胎日数	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表11-15. 成牛選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のFHLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
FHL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FHL48	.001	.001	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FHL60	.007	.006	.005	.004	.003	.002	.001	.001	.000
FHL72	.027	.023	.020	.016	.013	.009	.006	.002	-.001
FHL84	.061	.054	.047	.039	.032	.025	.018	.011	.004
体貌と骨格	-.006	-.004	-.002	.000	.001	.003	.005	.007	.009
決定得点	.006	.007	.009	.011	.012	.014	.016	.017	.019
高さ	-.009	-.008	-.007	-.006	-.005	-.003	-.002	-.001	.000
胸の幅	-.006	-.006	-.005	-.004	-.004	-.003	-.002	-.002	-.001
体の深さ	-.007	-.006	-.005	-.004	-.003	-.003	-.002	-.001	.000
坐骨幅	-.009	-.008	-.007	-.006	-.006	-.005	-.004	-.003	-.003
空胎日数	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表11-16. 若齢選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のTPLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
TPL36	.002	.002	.002	.002	.003	.003	.003	.003	.004
TPL48	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.003
TPL60	.015	.014	.012	.011	.010	.008	.007	.006	.004
TPL72	.047	.042	.037	.032	.028	.023	.018	.013	.009
TPL84	.100	.089	.079	.069	.060	.050	.040	.030	.021
体貌と骨格	-.013	-.009	-.005	-.001	.003	.007	.011	.015	.019
決定得点	.012	.015	.019	.023	.027	.030	.034	.037	.041
高さ	-.021	-.018	-.016	-.013	-.010	-.008	-.005	-.002	.000
胸の幅	-.014	-.013	-.011	-.010	-.008	-.007	-.005	-.004	-.002
体の深さ	-.015	-.013	-.011	-.009	-.008	-.006	-.004	-.002	-.001
坐骨幅	-.019	-.018	-.016	-.014	-.013	-.011	-.009	-.008	-.006
空胎日数	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-.001	-.001

表11-17. 若齢選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のFPLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
FPL36	.002	.002	.002	.002	.003	.003	.003	.003	.003
FPL48	.004	.004	.004	.004	.003	.003	.003	.003	.003
FPL60	.017	.016	.014	.013	.011	.010	.009	.007	.006
FPL72	.052	.047	.041	.036	.031	.025	.020	.015	.010
FPL84	.105	.094	.083	.072	.062	.051	.041	.030	.020
体貌と骨格	-.012	-.008	-.004	.000	.003	.007	.011	.015	.019
決定得点	.011	.014	.018	.021	.024	.028	.031	.035	.038
高さ	-.021	-.018	-.015	-.013	-.010	-.008	-.005	-.003	.000
胸の幅	-.014	-.012	-.011	-.010	-.008	-.007	-.005	-.004	-.002
体の深さ	-.014	-.013	-.011	-.009	-.008	-.006	-.004	-.003	-.001
坐骨幅	-.019	-.017	-.016	-.014	-.012	-.011	-.009	-.008	-.006
空胎日数	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-.001	-.001

表11-18. 若齢選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のTHLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
THL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
THL48	.001	.001	.001	.001	.000	.000	.000	.000	.000
THL60	.012	.010	.008	.007	.005	.003	.001	.000	-.002
THL72	.047	.041	.034	.027	.020	.014	.007	.001	-.006
THL84	.112	.098	.084	.070	.056	.042	.028	.015	.002
体貌と骨格	-.012	-.008	-.005	-.001	.003	.006	.010	.013	.017
決定得点	.011	.014	.018	.021	.024	.027	.031	.034	.037
高さ	-.018	-.016	-.014	-.011	-.009	-.006	-.004	-.002	.001
胸の幅	-.013	-.011	-.010	-.008	-.007	-.006	-.004	-.003	-.002
体の深さ	-.013	-.011	-.010	-.008	-.007	-.005	-.004	-.002	-.001
坐骨幅	-.017	-.015	-.014	-.012	-.011	-.009	-.008	-.006	-.005
空胎日数	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表11-19. 若齢選抜した場合の体貌と骨格および線形成分の割合を変化させた場合のFHLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	体貌と骨格：線形成分								
	26:74	27:73	28:72	29:71	30:70	31:69	32:68	33:67	34:66
FHL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FHL48	.001	.001	.001	.001	.001	.000	.000	.000	.000
FHL60	.014	.012	.010	.008	.006	.005	.003	.001	-.001
FHL72	.052	.045	.038	.031	.024	.018	.011	.004	-.002
FHL84	.119	.104	.090	.076	.062	.048	.034	.021	.007
体貌と骨格	-.012	-.008	-.004	-.001	.003	.006	.010	.013	.017
決定得点	.011	.014	.017	.021	.024	.027	.030	.033	.037
高さ	-.018	-.016	-.014	-.011	-.009	-.007	-.004	-.002	.000
胸の幅	-.012	-.011	-.010	-.008	-.007	-.006	-.004	-.003	-.002
体の深さ	-.013	-.011	-.010	-.008	-.007	-.005	-.004	-.002	-.001
坐骨幅	-.017	-.015	-.014	-.012	-.011	-.009	-.008	-.007	-.005
空胎日数	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

(3) 体のサイズ指数の作成

以上の結果を踏まえ、繋ぎ飼いや放し飼いや集団における体のサイズ指数は、線形形質の重みを高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅に対して、それぞれ-0.33、-0.22、-0.23 および-0.22 とし、体貌と骨格と線形4形質に対して28対72の重み付けを付した。同様に、放し飼いや集団における体のサイズ指数は、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅に対してそれぞれ-0.36、-0.22、-0.22 および-0.20の重みを付した後、体貌と骨格と線形4形質に対して30対70の重みを付した。

第4章の結果によると、高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅の線形スコアが1から中程度(スコア6付近)では、淘汰のリスクがほとんど変化しないことが判明している。そこで、体のサイズ指数は繋ぎ飼いや放し飼いや集団においてそれぞれ育種価に制限を設けない場合を指数-1と指数-3とするが、もう一つの指数として育種価に制限を設けた場合の指数-2と指数-4を作成し試行することとした。ここで、制限とは2010年生まれの雌牛におけるスコア6に相当する育種価の平均値(表11-20)を下限とし、それ以下に推定された育種価を下限值とした。

繋ぎ飼いや集団の体のサイズ指数は、以下の指数-1と指数-2である。

$$\text{指数-1} = 0.28 \times \text{EBV}_{\text{fr}} - 0.72 \times (0.33 \times \text{EBV}_{\text{sta}} + 0.22 \times \text{EBV}_{\text{chs}} + 0.23 \times \text{EBV}_{\text{dpt}} + 0.22 \times \text{EBV}_{\text{pin}})$$

$$\text{指数-2} = 0.28 \times \text{EBV}_{\text{fr}} - 0.72 \times (0.33 \times \text{EBV}_{\text{sta}<\text{LOW}} + 0.22 \times \text{EBV}_{\text{chs}<\text{LOW}} + 0.23 \times \text{EBV}_{\text{dpt}<\text{LOW}} + 0.22 \times \text{EBV}_{\text{pin}<\text{LOW}})$$

放し飼いやの体のサイズ指数、以下の指数-3と指数-4である。

$$\text{指数-3} = 0.30 \times \text{EBV}_{\text{fr}} - 0.70 \times (0.36 \times \text{EBV}_{\text{sta}} + 0.22 \times \text{EBV}_{\text{chs}} + 0.22 \times \text{EBV}_{\text{dpt}} + 0.20 \times \text{EBV}_{\text{pin}})$$

$$\text{指数-4} = 0.30 \times \text{EBV}_{\text{fr}} - 0.70 \times (0.36 \times \text{EBV}_{\text{sta}<\text{LOW}} + 0.22 \times \text{EBV}_{\text{chs}<\text{LOW}} + 0.22 \times \text{EBV}_{\text{dpt}<\text{LOW}} + 0.20 \times \text{EBV}_{\text{pin}<\text{LOW}})$$

ここで、EBVは育種価、EBV<LOWは下限值以下の育種価をすべて下限值とした育種価、frは体貌と骨格、sta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。

表11-21には、体のサイズ指数に含まれる各形質の育種価に対する重み付けを示した。

表11-20. 線形スコアごとの育種価の平均値

形質	スコア								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
高さ	-4.00	-3.54	-3.01	-2.74	-2.48	-1.79	-0.78	0.02	0.84
胸の幅	-3.89	-3.26	-2.83	-2.26	-1.70	-1.11	-0.63	0.01	0.70
体の深さ	-3.66	-3.37	-2.96	-2.49	-1.83	-1.01	0.00	0.59	1.28
坐骨幅	-3.16	-2.35	-1.80	-1.17	-0.64	0.04	0.56	1.10	1.53

表11-21. 体のサイズ指数に含まれる各形質の育種価に対する重み付け

	体貌と骨格	高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅
繋ぎ飼い	28	-24	-16	-16	-16
放し飼い	30	-25	-15	-15	-15

表11-22. 体のサイズ指数と各形質の育種価との相関(国内種雄牛375頭)

体のサイズ指数	体貌と骨格	決定得点	高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅
指数-1	+0.16	+0.32	-0.71	-0.64	-0.58	-0.50
指数-2	+0.11	+0.28	-0.69	-0.61	-0.54	-0.45
指数-3	+0.07	+0.26	-0.66	-0.57	-0.50	-0.48
指数-4	+0.04	+0.25	-0.67	-0.55	-0.48	-0.40

(4) 種雄牛の序列

表 11-22 には、国内種雄牛 375 頭の集団における体のサイズ指数と各形質の育種価との相関を示した。繋ぎ飼い集団に利用する指数-1 と指数-2 の場合、体貌と骨格との相関が 0.16 と 0.11、さらに決定得点との相関が 0.32 と 0.28 であり、放し飼い集団に利用する指数-3 と指数-4 と比較し、体貌と骨格や決定得点の育種価が高い種雄牛が上位に序列される可能性が高かった。また、繋ぎ飼い集団に利用する指数-1 と指数-2 は、放し飼い集団に利用する指数-3 と指数-4 と比較し、体のサイズに関する体型形質との負の相関が若干大きい傾向が認められた。

表 11-23 から表 11-26 には、2019-8 月評価における国内種雄牛 375 頭を使用した場合の体のサイズ指数上位および下位 20 頭にける種雄牛の序列と平均値を示した。上位 20 頭における体貌と骨格および決定係数の平均育種価はプラスであり、下位 20 頭の平均と比較して低かったが得点形質の改良が期待できるものと推察された。上位 20 までの体貌と骨格の平均育種価は、繋ぎ飼い集団の指数-1 において+0.09、放し飼い集団の指数-3 において+0.15 であった。一方、育種価の下限を設定した場合の体貌と骨格の平均育種価は、繋ぎ飼い集団の指数-2 において+0.17、放し飼い集団の指数-4 において+0.24 であり、下限を設定した方が、体貌と骨格の育種価が高い種雄牛が上位にランキングされる傾向を示した。

高さ、胸の幅、体の深さおよび坐骨幅における上位 20 の平均育種価は、いずれも負の値を示した。本分析で開発した体のサイズ指数は、体貌と骨格および決定得点の得率を下げることなく、体のサイズを小型化できる種雄牛を効率よく抽出できることが明らかになった。一方、下位 20 には、体貌と骨格および決定得点を改良でき種雄牛が揃っているが、ほとんどが体のサイズを大型化する可能性のある種雄牛であった。

表11-23. 2019-8月評価における国内種雄牛375頭を使用した場合の繋ぎ飼い集団における体のサイズ指数(指数-1)で序列化した上位および下位20頭

種雄牛	体のサイズ指数	総合指数	長命連産効果(円)	体貌と骨格	決定得点	高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅
上位									
1	+0.40	+2,056	+89,248	+0.66	+1.27	-0.68	-0.70	-1.40	+0.48
2	+0.36	+980	+26,070	-0.94	-0.12	-2.01	-1.66	-1.16	-2.12
3	+0.34	+2,275	+75,755	0.00	+0.39	-0.82	-1.06	-1.51	-1.19
4	+0.30	+713	+13,725	-0.37	-0.05	-1.62	-1.52	-0.91	-0.74
5	+0.29	+1,665	+61,716	+0.70	+0.75	+0.28	-0.48	-1.58	-0.43
6	+0.25	+2,395	+122,160	+1.00	+0.80	+0.29	-0.91	-1.07	+0.79
7	+0.24	+180	+15,139	-0.16	-0.13	-0.32	-1.09	-1.27	-1.34
	+0.24	+988	+48,661	+0.48	+0.83	-0.13	-0.37	-0.09	-0.21
9	+0.23	+1,166	+57,430	-0.36	+0.07	-0.51	-1.10	-2.46	-0.43
10	+0.22	+1,704	+17,473	-0.30	-0.25	-1.05	-1.53	-0.49	+0.03
	+0.22	+155	+48,239	-0.35	+0.06	-0.43	-0.57	-1.97	-1.21
12	+0.21	+86	+20,637	-0.28	+0.15	-0.56	-1.48	-1.26	-0.31
13	+0.20	+1,404	+54,003	+0.05	+0.36	+0.34	-1.42	-1.77	-0.91
	+0.20	-460	-8,532	+0.48	+0.67	-0.11	+0.26	-0.49	+0.07
15	+0.19	+1,338	+17,026	+0.01	0.00	-0.67	-0.92	-0.86	+0.66
	+0.19	+1,608	+32,962	-0.31	-0.15	-1.05	-0.37	-1.24	+0.21
	+0.19	+598	-14,175	+1.26	+0.61	+0.63	+0.63	-0.01	+0.95
18	+0.18	+862	-655	-0.58	-0.54	-1.16	-1.14	-0.07	-1.07
	+0.18	+814	+23,337	-0.82	-0.24	-0.87	-1.99	-2.94	+0.13
20	+0.17	+863	+22,471	+0.97	+0.34	+0.29	-0.55	+0.62	+1.01
	+0.17	+2,462	+68,155	+0.36	+0.88	+0.70	-0.62	-0.57	-1.84
	+0.17	+725	+19,877	+0.17	+0.40	-0.33	-1.00	-0.72	+0.63
	+0.17	+661	+22,865	+0.39	+0.15	+0.62	-0.27	-1.71	-0.53
平均値	+0.23	+1,097	+36,243	+0.09	+0.27	-0.40	-0.86	-1.08	-0.32
下位									
355	-0.43	+590	+11,363	+1.07	+1.17	+2.80	+2.16	+2.54	+2.22
	-0.43	+657	+74,310	+1.54	+0.99	+3.11	+3.25	+1.95	+3.43
357	-0.44	+1,808	+81,804	+0.82	+1.18	+2.47	+2.91	+1.60	+2.36
	-0.44	+1,689	+64,619	-0.51	+0.77	+1.33	+2.06	+1.28	+0.42
	-0.44	+2,196	+80,260	+1.19	+1.53	+2.59	+2.72	+2.15	+3.35
	-0.44	+2,670	+57,441	-0.03	+0.75	+1.80	+3.49	+1.54	+0.07
361	-0.45	+1,330	+29,903	+0.86	+0.75	+2.15	+3.27	+2.92	+2.25
362	-0.46	+1,964	+63,479	+0.93	+0.94	+2.37	+2.57	+2.90	+2.56
363	-0.47	+1,160	+49,733	-0.95	+0.23	+0.52	+0.80	-0.59	+3.50
	-0.47	+1,631	+47,510	+2.04	+1.57	+3.96	+2.77	+2.48	+3.56
	-0.47	+2,005	+48,614	+1.06	+1.02	+3.02	+2.50	+2.05	+2.35
366	-0.51	+1,873	+52,463	+0.53	+0.93	+2.73	+2.38	+1.88	+1.16
367	-0.52	+1,655	+92,131	-0.62	+0.10	+1.40	+0.10	-0.12	+3.19
368	-0.53	+1,772	+39,860	+1.25	+1.60	+3.57	+2.76	+2.33	+2.01
369	-0.55	+1,756	+30,226	+0.97	+1.15	+2.54	+3.87	+3.44	+2.24
370	-0.56	+2,336	+47,402	-0.81	+0.85	+0.80	+1.09	+1.61	+2.70
371	-0.59	+1,086	+112,435	+1.29	+1.18	+4.13	+2.46	+1.25	+2.91
372	-0.60	+1,615	+27,277	+0.61	+0.02	+3.16	+1.97	+1.33	+2.78
373	-0.61	+1,227	+62,400	+0.12	+0.76	+2.06	+2.36	+2.09	+2.93
	-0.61	+1,905	+22,006	+0.31	+0.71	+3.38	+2.02	+2.05	+0.90
375	-0.68	+1,526	+66,030	+0.76	+0.97	+3.86	+2.49	+2.53	+1.26
平均値	-0.51	+1,641	+55,298	+0.59	+0.91	+2.56	+2.38	+1.87	+2.29

表11-24. 2019-8月評価における国内種雄牛375頭を使用した場合の繋ぎ飼い集団における体のサイズ指数(指数-2)で序列化した上位および下位20頭

種雄牛	体のサイズ指数	総合指数	長命連産効果(円)	体貌と骨格	決定得点	高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅
上位									
1	+0.36	+2,056	+89,248	+0.66	+1.27	-0.68	-0.70	-1.40	+0.48
2	+0.31	+713	+13,725	-0.37	-0.05	-1.62	-1.52	-0.91	-0.74
3	+0.28	+2,275	+75,755	0.00	+0.39	-0.82	-1.06	-1.51	-1.19
4	+0.27	+2,395	+122,160	+1.00	+0.80	+0.29	-0.91	-1.07	+0.79
5	+0.25	+1,665	+61,716	+0.70	+0.75	+0.28	-0.48	-1.58	-0.43
6	+0.19	+988	+48,661	+0.48	+0.83	-0.13	-0.37	-0.09	-0.21
7	+0.18	+980	+26,070	-0.94	-0.12	-2.01	-1.66	-1.16	-2.12
8	+0.17	+1,704	+17,473	-0.30	-0.25	-1.05	-1.53	-0.49	+0.03
9	+0.16	-460	-8,532	+0.48	+0.67	-0.11	+0.26	-0.49	+0.07
	+0.16	+1,338	+17,026	+0.01	0.00	-0.67	-0.92	-0.86	+0.66
	+0.16	+598	-14,175	+1.26	+0.61	+0.63	+0.63	-0.01	+0.95
12	+0.15	+180	+15,139	-0.16	-0.13	-0.32	-1.09	-1.27	-1.34
	+0.15	+863	+22,471	+0.97	+0.34	+0.29	-0.55	+0.62	+1.01
	+0.15	+725	+19,877	+0.17	+0.40	-0.33	-1.00	-0.72	+0.63
	+0.15	+1,608	+32,962	-0.31	-0.15	-1.05	-0.37	-1.24	+0.21
16	+0.14	+86	+20,637	-0.28	+0.15	-0.56	-1.48	-1.26	-0.31
	+0.13	+862	-655	-0.58	-0.54	-1.16	-1.14	-0.07	-1.07
18	+0.12	+1,800	+78,400	+0.39	+0.57	+0.26	-0.86	+0.10	-0.42
	+0.12	+1,549	+57,938	+0.41	+0.60	+0.33	+0.13	-0.92	-0.21
20	+0.11	+1,295	+48,659	-0.27	0.00	-0.91	-0.07	-0.03	-0.34
平均値	+0.19	+1,161	+37,228	+0.17	+0.31	-0.47	-0.73	-0.72	-0.18
下位									
356	-0.55	+657	+74,310	+1.54	+0.99	+3.11	+3.25	+1.95	+3.43
	-0.55	+1,808	+81,804	+0.82	+1.18	+2.47	+2.91	+1.60	+2.36
	-0.55	+1,689	+64,619	-0.51	+0.77	+1.33	+2.06	+1.28	+0.42
	-0.55	+2,196	+80,260	+1.19	+1.53	+2.59	+2.72	+2.15	+3.35
	-0.55	+2,670	+57,441	-0.03	+0.75	+1.80	+3.49	+1.54	+0.07
361	-0.56	+1,330	+29,903	+0.86	+0.75	+2.15	+3.27	+2.92	+2.25
362	-0.57	+1,964	+63,479	+0.93	+0.94	+2.37	+2.57	+2.90	+2.56
	-0.57	+1,160	+49,733	-0.95	+0.23	+0.52	+0.80	-0.59	+3.50
364	-0.58	+1,631	+47,510	+2.04	+1.57	+3.96	+2.77	+2.48	+3.56
	-0.58	+2,005	+48,614	+1.06	+1.02	+3.02	+2.50	+2.05	+2.35
366	-0.59	+1,873	+52,463	+0.53	+0.93	+2.73	+2.38	+1.88	+1.16
367	-0.61	+1,655	+92,131	-0.62	+0.10	+1.40	+0.10	-0.12	+3.19
368	-0.63	+1,772	+39,860	+1.25	+1.60	+3.57	+2.76	+2.33	+2.01
369	-0.65	+1,756	+30,226	+0.97	+1.15	+2.54	+3.87	+3.44	+2.24
370	-0.66	+2,336	+47,402	-0.81	+0.85	+0.80	+1.09	+1.61	+2.70
371	-0.69	+1,086	+112,435	+1.29	+1.18	+4.13	+2.46	+1.25	+2.91
372	-0.70	+1,615	+27,277	+0.61	+0.02	+3.16	+1.97	+1.33	+2.78
372	-0.71	+1,227	+62,400	+0.12	+0.76	+2.06	+2.36	+2.09	+2.93
374	-0.74	+1,905	+22,006	+0.31	+0.71	+3.38	+2.02	+2.05	+0.90
375	-0.77	+1,526	+66,030	+0.76	+0.97	+3.86	+2.49	+2.53	+1.26
平均値	-0.62	+1,693	+57,495	+0.57	+0.90	+2.55	+2.39	+1.83	+2.30

表11-25. 2019-8月評価における国内種雄牛375頭を使用した場合の放し飼い集団における体のサイズ指数(指数-3)で序列化した上位および下位20頭

種雄牛	体のサイズ指数	総合指数	長命連産効果(円)	体貌と骨格	決定得点	高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅
上位									
1	+0.37	+2,056	+89,248	+0.66	+1.27	-0.68	-0.70	-1.40	+0.48
2	+0.33	+2,275	+75,755	0.00	+0.39	-0.82	-1.06	-1.51	-1.19
3	+0.32	+980	+26,070	-0.94	-0.12	-2.01	-1.66	-1.16	-2.12
	+0.32	+713	+13,725	-0.37	-0.05	-1.62	-1.52	-0.91	-0.74
5	+0.28	+1,665	+61,716	+0.70	+0.75	+0.28	-0.48	-1.58	-0.43
	+0.28	+2,395	+122,160	+1.00	+0.80	+0.29	-0.91	-1.07	+0.79
7	+0.20	+180	+15,139	-0.16	-0.13	-0.32	-1.09	-1.27	-1.34
	+0.20	+988	+48,661	+0.48	+0.83	-0.13	-0.37	-0.09	-0.21
9	+0.18	+598	-14,175	+1.26	+0.61	+0.63	+0.63	-0.01	+0.95
10	+0.17	-460	-8,532	+0.48	+0.67	-0.11	+0.26	-0.49	+0.07
	+0.17	+1,704	+17,473	-0.30	-0.25	-1.05	-1.53	-0.49	+0.03
12	+0.16	+863	+22,471	+0.97	+0.34	+0.29	-0.55	+0.62	+1.01
	+0.16	+2,462	+68,155	+0.36	+0.88	+0.70	-0.62	-0.57	-1.84
	+0.16	+1,166	+57,430	-0.36	+0.07	-0.51	-1.10	-2.46	-0.43
	+0.16	+155	+48,239	-0.35	+0.06	-0.43	-0.57	-1.97	-1.21
16	+0.15	+86	+20,637	-0.28	+0.15	-0.56	-1.48	-1.26	-0.31
	+0.15	+1,338	+17,026	+0.01	0.00	-0.67	-0.92	-0.86	+0.66
	+0.15	+1,404	+54,003	+0.05	+0.36	+0.34	-1.42	-1.77	-0.91
19	+0.14	+862	-655	-0.58	-0.54	-1.16	-1.14	-0.07	-1.07
	+0.14	+1,333	+6,872	+0.48	-0.10	+0.38	+0.80	+0.42	-1.67
	+0.14	+661	+22,865	+0.39	+0.15	+0.62	-0.27	-1.71	-0.53
	+0.14	+725	+19,877	+0.17	+0.40	-0.33	-1.00	-0.72	+0.63
	+0.14	+1,608	+32,962	-0.31	-0.15	-1.05	-0.37	-1.24	+0.21
平均値	+0.20	+1,120	+35,527	+0.15	+0.28	-0.34	-0.74	-0.94	-0.40
下位									
354	-0.52	+1,891	+23,118	-0.43	-0.01	+0.63	+1.96	+1.83	+1.77
	-0.52	+761	-8,155	+0.51	+0.87	+2.70	+0.28	+0.57	+2.47
	-0.52	+1,330	+29,903	+0.86	+0.75	+2.15	+3.27	+2.92	+2.25
	-0.52	+657	+74,310	+1.54	+0.99	+3.11	+3.25	+1.95	+3.43
	-0.52	+1,808	+81,804	+0.82	+1.18	+2.47	+2.91	+1.60	+2.36
	-0.52	+2,196	+80,260	+1.19	+1.53	+2.59	+2.72	+2.15	+3.35
360	-0.53	+1,631	+47,510	+2.04	+1.57	+3.96	+2.77	+2.48	+3.56
	-0.53	+2,670	+57,441	-0.03	+0.75	+1.80	+3.49	+1.54	+0.07
	-0.53	+1,964	+63,479	+0.93	+0.94	+2.37	+2.57	+2.90	+2.56
363	-0.55	+1,689	+64,619	-0.51	+0.77	+1.33	+2.06	+1.28	+0.42
	-0.55	+2,005	+48,614	+1.06	+1.02	+3.02	+2.50	+2.05	+2.35
365	-0.57	+1,873	+52,463	+0.53	+0.93	+2.73	+2.38	+1.88	+1.16
366	-0.59	+1,772	+39,860	+1.25	+1.60	+3.57	+2.76	+2.33	+2.01
367	-0.60	+1,756	+30,226	+0.97	+1.15	+2.54	+3.87	+3.44	+2.24
368	-0.62	+1,160	+49,733	-0.95	+0.23	+0.52	+0.80	-0.59	+3.50
369	-0.64	+1,655	+92,131	-0.62	+0.10	+1.40	+0.10	-0.12	+3.19
370	-0.67	+1,086	+112,435	+1.29	+1.18	+4.13	+2.46	+1.25	+2.91
371	-0.68	+1,615	+27,277	+0.61	+0.02	+3.16	+1.97	+1.33	+2.78
	-0.68	+2,336	+47,402	-0.81	+0.85	+0.80	+1.09	+1.61	+2.70
372	-0.70	+1,227	+62,400	+0.12	+0.76	+2.06	+2.36	+2.09	+2.93
374	-0.72	+1,905	+22,006	+0.31	+0.71	+3.38	+2.02	+2.05	+0.90
375	-0.73	+1,526	+66,030	+0.76	+0.97	+3.86	+2.49	+2.53	+1.26
平均値	-0.59	+1,660	+52,948	+0.52	+0.86	+2.47	+2.28	+1.78	+2.28

表11-26. 2019-8月評価における国内種雄牛375頭を使用した場合の放し飼いにおける体のサイズ指数(指数-4)で序列化した上位および下位20頭

種雄牛	体のサイズ指数	総合指数	長命連産効果(円)	体貌と骨格	決定得点	高さ	胸の幅	体の深さ	坐骨幅
上位									
1	+0.37	+2,056	+89,248	+0.66	+1.27	-0.68	-0.70	-1.40	+0.48
2	+0.31	+713	+13,725	-0.37	-0.05	-1.62	-1.52	-0.91	-0.74
3	+0.29	+2,395	+122,160	+1.00	+0.80	+0.29	-0.91	-1.07	+0.79
4	+0.28	+2,275	+75,755	0.00	+0.39	-0.82	-1.06	-1.51	-1.19
5	+0.25	+1,665	+61,716	+0.70	+0.75	+0.28	-0.48	-1.58	-0.43
6	+0.20	+988	+48,661	+0.48	+0.83	-0.13	-0.37	-0.09	-0.21
7	+0.19	+598	-14,175	+1.26	+0.61	+0.63	+0.63	-0.01	+0.95
8	+0.17	+980	+26,070	-0.94	-0.12	-2.01	-1.66	-1.16	-2.12
	+0.17	-460	-8,532	+0.48	+0.67	-0.11	+0.26	-0.49	+0.07
	+0.17	+1,704	+17,473	-0.30	-0.25	-1.05	-1.53	-0.49	+0.03
	+0.17	+863	+22,471	+0.97	+0.34	+0.29	-0.55	+0.62	+1.01
	+0.17	+1,338	+17,026	+0.01	0.00	-0.67	-0.92	-0.86	+0.66
13	+0.15	+1,302	+58,681	+0.47	-0.01	-1.01	+0.38	+0.79	+2.15
	+0.15	+725	+19,877	+0.17	+0.40	-0.33	-1.00	-0.72	+0.63
	+0.15	+1,608	+32,962	-0.31	-0.15	-1.05	-0.37	-1.24	+0.21
16	+0.14	+180	+15,139	-0.16	-0.13	-0.32	-1.09	-1.27	-1.34
17	+0.13	+86	+20,637	-0.28	+0.15	-0.56	-1.48	-1.26	-0.31
	+0.13	+2,153	+41,543	+0.90	+1.10	+0.13	+0.53	+0.96	+0.89
19	+0.12	+862	-655	-0.58	-0.54	-1.16	-1.14	-0.07	-1.07
	+0.12	+1,800	+78,400	+0.39	+0.57	+0.26	-0.86	+0.10	-0.42
	+0.12	+1,549	+57,938	+0.41	+0.60	+0.33	+0.13	-0.92	-0.21
平均値	+0.19	+1,209	+37,910	+0.24	+0.34	-0.44	-0.65	-0.60	-0.01
下位									
353	-0.52	+1,891	+23,118	-0.43	-0.01	+0.63	+1.96	+1.83	+1.77
	-0.52	+761	-8,155	+0.51	+0.87	+2.70	+0.28	+0.57	+2.47
	-0.52	+1,330	+29,903	+0.86	+0.75	+2.15	+3.27	+2.92	+2.25
	-0.52	+657	+74,310	+1.54	+0.99	+3.11	+3.25	+1.95	+3.43
	-0.52	+1,808	+81,804	+0.82	+1.18	+2.47	+2.91	+1.60	+2.36
	-0.52	+2,196	+80,260	+1.19	+1.53	+2.59	+2.72	+2.15	+3.35
359	-0.53	+1,631	+47,510	+2.04	+1.57	+3.96	+2.77	+2.48	+3.56
	-0.53	+2,670	+57,441	-0.03	+0.75	+1.80	+3.49	+1.54	+0.07
	-0.53	+1,964	+63,479	+0.93	+0.94	+2.37	+2.57	+2.90	+2.56
362	-0.54	+1,462	-14,548	-1.17	+0.19	+1.30	+0.20	+0.01	-1.07
363	-0.55	+1,689	+64,619	-0.51	+0.77	+1.33	+2.06	+1.28	+0.42
	-0.55	+2,005	+48,614	+1.06	+1.02	+3.02	+2.50	+2.05	+2.35
365	-0.57	+1,873	+52,463	+0.53	+0.93	+2.73	+2.38	+1.88	+1.16
366	-0.59	+1,772	+39,860	+1.25	+1.60	+3.57	+2.76	+2.33	+2.01
367	-0.60	+1,756	+30,226	+0.97	+1.15	+2.54	+3.87	+3.44	+2.24
368	-0.62	+1,160	+49,733	-0.95	+0.23	+0.52	+0.80	-0.59	+3.50
369	-0.64	+1,655	+92,131	-0.62	+0.10	+1.40	+0.10	-0.12	+3.19
370	-0.67	+1,086	+112,435	+1.29	+1.18	+4.13	+2.46	+1.25	+2.91
371	-0.68	+1,615	+27,277	+0.61	+0.02	+3.16	+1.97	+1.33	+2.78
	-0.68	+2,336	+47,402	-0.81	+0.85	+0.80	+1.09	+1.61	+2.70
372	-0.70	+1,227	+62,400	+0.12	+0.76	+2.06	+2.36	+2.09	+2.93
374	-0.72	+1,905	+22,006	+0.31	+0.71	+3.38	+2.02	+2.05	+0.90
375	-0.73	+1,526	+66,030	+0.76	+0.97	+3.86	+2.49	+2.53	+1.26
平均値	-0.59	+1,651	+50,014	+0.45	+0.83	+2.42	+2.19	+1.70	+2.13

NTP と長命連産効果は上位 20 よりも下位 20 の平均値の方が高かった。これまでの分析結果によれば、体のサイズが大きい個体は長命連産性の短縮化を生じる可能性があるが、現在の長命連産効果には体のサイズを適正に選抜するための工夫がなされていない。長命連産性および生産寿命の改良が期待できる種雄牛を選抜できるようにするには、今回開発した体のサイズ指数を長命連産効果に組み込むことも検討していく必要がある。

4. 結論

本分析では、繋ぎ飼い集団と放し飼い集団のそれぞれに適合する体のサイズ指数を開発した。体のサイズ指数は、体のサイズに関連する形質の育種価に下限を設けた方が体貌と骨格の育種価が高い種雄牛が上位にランキングされる傾向が見られた。

5. 参考文献

- 1) Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). Proc. 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Montpellier, France. CD-ROM communication 28:07.
- 2) Schaeffer L.R. Strategy for applying genome-wide selection in dairy cattle. J. Anim. Breed. Genet. 2006; 123: 218–223
- 3) Weigel KA, Gianola D. 1993. A computationally simple bayesian method for estimation of heterogeneous within-herd phenotypic variances. J. Dairy Sci. 76: 1455-1465.

第12章 長命性と肢蹄に関する遺伝的パラメータの推定

1. はじめに

第4章における生存時間解析において、肢蹄に関する形質は乳房や体のサイズと比較し、生産期間(PL)および在群期間(HL)の表型的関係が若干希薄であることが判明した。肢蹄形質の中でも、歩様は生産寿命との関係が比較的明確であり、歩様の優れた雌牛は淘汰の危険性が明らかに低い傾向にあり、世界ホルスタイン・フリージアン連盟では歩様を国際標準形質として位置づけている。しかし、歩様は放し飼い牛舎で飼養されている雌牛でなければデータ収集に困難を伴うとして、歩様データの収集があまり進んでいなかった。しかし、第13章で示したように繋ぎ飼い集団でも歩様の育種価が推定できるようになれば、歩様を選抜形質として利用することが可能になる。

本分析では、歩様を含む肢蹄に関する体型形質の選抜に必要な基礎資料を得るため、PL および HL と共に遺伝的パラメータを推定した。また、肢蹄形質は繁殖性との関連を指摘した研究報告もあることから、遺伝的パラメータの推定ではさらに空胎日数と受胎率も加え、繁殖性との遺伝的関連性を調査した。

2. 材料および方法

データは、牛群検定記録を使用し、18 から 35 カ月齢の範囲で初産分娩し雌牛を抽出した。これら抽出データには初産分娩後 365 日以内に収集した体型記録を結合した。さらに、データは繋ぎ飼い集団と放し飼い集団に分けられた。

分析に使用した生産寿命は、真の生産期間(TPL)、在群期間(THL)、機能的生産期間(FPL)および機能的在群期間(FHL)の4形質である。PL は、各産次における分娩年月日と乾乳年月日から泌乳月数を算出し、36 から 84 カ月齢まで 12 カ月ごとに切断した5形質を分析に使用することとし、それぞれ PL36、PL48、PL60、PL72 および PL84 と名称を付けた。例えば、PL36 は 36 カ月までの泌乳月数を示し、36 カ月齢を超えて泌乳している場合は 36 カ月齢までの泌乳月数とし、その他の形質も同様に定義した。在群期間は、誕生年月日と除籍年月日を利用して、出生から除籍までの月数を算出し、PL と同様に 36 から 84 カ月齢まで 12 カ月ごとに切断した5形質、すなわち HL36、HL48、HL60、HL72 および HL84 を分析に使用した。例えば HL36 は 36 カ月齢までの在群月齢とし、在群が 36 カ月齢を超えた場合の HL36 は 36 カ月とした。なお、分析に使用したデータは歩様の審査が開始された 2004 年 4 月 1 日からすべての雌牛が 84 カ月齢に達する 2011 年 3 月 31 日までの審査記録とした。

肢蹄に関する体型形質は後肢側望、後肢後望、蹄の角度および歩様の4形質を分析に使用し、その他、肢蹄得率および決定得点を加え、分析には6形質を使用した。歩様は、放し飼い集団からのデータ収集に限られるため、繋ぎ飼い集団において欠測が

ある。繁殖形質は空胎日数および初産次の初回授精受胎率(以下、受胎率という)の2形質を分析対象とした。表12-1には、繋ぎ飼い集団と放し飼い集団において分析に使用した各形質の記録数、平均値、標準偏差(SD)、最小値および最大値を示した。

遺伝的パラメータの推定は、以下の多形質アニマルモデルを仮定した。各形質により考慮すべき母数効果が異なることからTPLとTHLはモデル1、FPLとFHLはモデル2、体型に関する6形質にはモデル3、さらに繁殖性の2形質にはモデル4を仮定した。

表12-1. 分析に使用した各形質の記録数、平均値、標準偏差(SD)、最小値および最大値

形質	繋ぎ飼い集団					放し飼い集団				
	記録数	平均値	SD	最小値	最大値	記録数	平均値	SD	最小値	最大値
PL36	160,367	10.1	2.4	1	17	112,261	10.4	2.3	1	17
PL48	158,706	19.0	3.4	2	28	110,053	19.2	3.6	2	28
PL60	150,882	26.2	6.1	2	38	102,590	25.7	6.7	2	39
PL72	144,471	31.3	9.5	2	50	98,744	30.0	10.3	2	50
PL84	139,752	34.5	12.8	2	60	96,333	32.4	13.2	2	59
HL36	160,367	36.0	0.4	25	36	112,261	35.9	0.5	23	36
HL48	158,706	47.2	2.7	25	48	110,053	46.9	3.2	23	48
HL60	150,882	56.5	6.6	25	60	102,590	55.3	7.5	23	60
HL72	144,471	63.1	11.3	25	72	98,744	60.9	12.0	23	72
HL84	139,752	67.3	15.5	25	84	96,333	64.0	15.8	23	84
肢蹄	160,367	78.6	2.59	50	88	112,261	79.1	2.63	50	88
決定得点	160,367	78.5	2.58	60	88	112,261	78.4	2.59	60	88
後肢側望	160,367	4.96	1.44	1	9	112,261	5.16	1.40	1	9
後肢後望	160,367	5.00	1.48	1	9	112,261	4.84	1.43	1	9
蹄の角度	160,367	4.80	1.34	1	9	112,261	5.55	1.44	1	9
歩様	—	—	—	—	—	67,497	4.85	1.50	1	9
空胎日数	160,367	152	83.2	22	365	112,261	143	82.4	22	365
受胎率	160,367	0.36	0.48	0	1	112,261	0.37	0.48	0	1

表12-2. 統計モデルの効果と水準数

効果	水準数	
	繋ぎ飼い	放し飼い
牛群分娩年	14,679	8,414
分娩年月	144	144
審査月齢	15	15
審査員年度	97	97
泌乳ステージ	12	12
記録を持つ個体数	160,367	112,261
血縁のみ個体数	179,683	173,573

$$\text{モデル1: } y_{ijm} = HY_i + YM_j + bv_m + e_{ijm}$$

$$\text{モデル2: } y_{ijm} = HY_i + YM_j + b_1MSD_m + b_2MSD_m^2 + bv_m + e_{ijm}$$

$$\text{モデル3: } y_{ijklm} = HY_i + CY_j + AGE_k + SOL_l + bv_m + e_{ijklm}$$

$$\text{モデル4: } y_{ijklm} = HY_i + YM_j + AGE_k + bv_m + e_{ijklm}$$

ここで、

$y_{ijm}, y_{ijklm}, y_{ijkln}$: 生産寿命、体のサイズまたは繁殖形質の表型値

HY_i : 牛群分娩年に関する母数効果

YM_j : 分娩年月に関する母数効果

MSD_m : 牛群分娩年ごとの乳量の牛群内偏差

b_1 : 牛群分娩年ごとの乳量の牛群内偏差に対する一次の偏回帰係数

b_2 : 牛群分娩年ごとの乳量の牛群内偏差に対する二次の偏回帰係数

CY_j : 審査員年度に関する母数効果

AGE_k : 審査月齢に関する母数効果

SOL_l : 泌乳ステージに関する母数効果

bv_m : 相加的遺伝効果に関する変量効果

$e_{ijm}, e_{ijklm}, e_{ijkln}$: 残差分散

表 12-2 には、上記の各モデルに含まれる効果と水準数を示した。牛群分娩年のサブクラス内に含まれる記録数は 5 記録以上を有するものに制限した。審査月齢は 18 から 25 カ月齢、38 から 39 カ月齢および 40 カ月齢以上をまとめて 3 クラスとし、それら以外のを月齢ごとに 12 区分とし、合計 15 水準とした。泌乳ステージは分娩年月日から 330 日までを 30 日ごとに 11 区分し、331 日から 365 日の 1 区分を加え 12 水準とした。血縁記録は、本牛を第一世代として第三世代まで遡った。

分析では体型形質と繁殖形質にそれぞれ TPL、FPL、THL または FHL を加えて 4 種類のデータセットを作成し、それぞれ遺伝的パラメータを推定した(表 12-3 から表 12-6)。分析プログラムは THRGIBBS1F90 (Misztal ら, 2002) を使用し、20 万回のサンプリングの内、最初の 5 万回を Burn-in した残り 15 万サンプルの平均値を推定値とした。体型形質は、Weigel ら(1993)の方法に基づき牛群分散を補正した。

3. 結果および考察

表 12-3 には、繋ぎ飼い集団における TPL、体型形質および繁殖性に関する遺伝率および遺伝相関を示した。同様に 12-4 には FPL、表 12-5 には THL および表 12-6 には FHL と他の形質に関する遺伝率と遺伝相関を示した。表 12-7 から表 12-10 には、放し飼い集団における同様の遺伝率と遺伝相関を示した。繋ぎ飼い集団における 60、72 および 84 カ月の TPL、FPL、THL および FHL は、肢蹄との間に +0.17 から +0.22 の範囲

で低い正の遺伝相関が推定されたが、放し飼い集団の場合はさらに低く+0.13 から+0.15 の範囲で推定された。この結果は、萩谷ら（2012）が報告した在群期間と肢蹄の遺伝相関である+0.10 から+0.41 の範囲内にあった。

60 カ月以上の TPL、FPL、THL および FHL は、後肢側望または後肢後望との間に ±0.1 以上の遺伝相関が推定されなかった。このような無相関の関係は、萩谷ら（2012）および Pérez-Cabal ら（2006）の報告とほぼ一致する結果であった。歩様は THL および FHL との間に -0.06 から +0.26 の範囲で無相関から中程度の正の遺伝相関が推定された。

表12-3. 繋ぎ飼い集団における真の生産期間、体型形質および繁殖性に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	TPL 36	TPL 48	TPL 60	TPL 72	TPL 84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	空胎 日数	受胎 率
TPL36	<u>0.14</u>											
TPL48	.91	<u>0.08</u>										
TPL60	.55	.83	<u>0.06</u>									
TPL72	.33	.65	.96	<u>0.07</u>								
TPL84	.23	.57	.92	.99	<u>0.09</u>							
肢蹄	.10	.13	.20	.21	.20	<u>0.10</u>						
決定得点	.22	.15	.11	.09	.07	.65	<u>0.25</u>					
後肢側望	.11	.09	.00	-.04	-.06	-.35	-.19	<u>0.23</u>				
後肢後望	.05	.07	.08	.04	.02	.50	.26	-.15	<u>0.10</u>			
蹄の角度	.01	-.07	-.11	-.11	-.12	.45	.36	-.13	.18	<u>0.06</u>		
空胎日数	.86	.65	.22	.00	-.08	.05	.22	.13	.03	.02	<u>0.11</u>	
受胎率	-.89	-.69	-.27	-.05	.04	-.07	-.21	-.11	-.08	-.03	-.94	<u>0.09</u>

表12-4. 繋ぎ飼い集団における機能的生産期間、体型形質および繁殖性に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	FPL 36	FPL 48	FPL 60	FPL 72	FPL 84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	空胎 日数	受胎 率
FPL36	<u>0.14</u>											
FPL48	.87	<u>0.08</u>										
FPL60	.47	.84	<u>0.07</u>									
FPL72	.27	.68	.97	<u>0.09</u>								
FPL84	.20	.61	.94	.99	<u>0.11</u>							
肢蹄	.00	.07	.17	.19	.20	<u>0.10</u>						
決定得点	.19	.17	.11	.06	.06	.61	<u>0.24</u>					
後肢側望	.15	.11	-.02	-.06	-.08	-.39	-.19	<u>0.23</u>				
後肢後望	.07	.12	.11	.06	.04	.43	.29	-.09	<u>0.10</u>			
蹄の角度	.06	.02	-.04	-.08	-.10	.37	.40	-.07	.22	<u>0.07</u>		
空胎日数	.78	.43	-.01	-.18	-.21	-.01	.17	.14	.03	.01	<u>0.11</u>	
受胎率	-.78	-.43	-.01	.13	.17	-.03	-.14	-.06	-.02	.06	-.92	<u>0.09</u>

表12-5. 繋ぎ飼い集団における真の在群期間、体型形質および繁殖性に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	THL 36	THL 48	THL 60	THL 72	THL 84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	空胎 日数	受胎 率
THL36	<u>0.00</u>											
THL48	.75	<u>0.02</u>										
THL60	.68	.97	<u>0.04</u>									
THL72	.64	.94	.99	<u>0.06</u>								
THL84	.61	.93	.98	.99	<u>0.09</u>							
肢蹄	-.21	.12	.20	.21	.21	<u>0.11</u>						
決定得点	-.41	-.12	-.01	.01	.02	.65	<u>0.24</u>					
後肢側望	.03	-.06	-.10	-.10	-.10	-.35	-.21	<u>0.20</u>				
後肢後望	.00	.10	.09	.05	.04	.50	.27	-.14	<u>0.10</u>			
蹄の角度	-.26	-.21	-.15	-.13	-.12	.44	.35	-.13	.17	<u>0.06</u>		
空胎日数	-.42	-.41	-.48	-.50	-.50	-.01	.18	.18	-.03	-.11	<u>0.10</u>	
受胎率	.49	.49	.52	.53	.52	-.08	-.22	-.12	-.04	.05	-.87	<u>0.06</u>

表12-6. 繋ぎ飼い集団における機能的在群期間、体型形質および繁殖性に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	FHL 36	FHL 48	FHL 60	FHL 72	FHL 84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	空胎 日数	受胎 率
FHL36	<u>0.00</u>											
FHL48	.69	<u>0.02</u>										
FHL60	.55	.97	<u>0.04</u>									
FHL72	.51	.95	1.00	<u>0.07</u>								
FHL84	.51	.95	.99	1.00	<u>0.09</u>							
肢蹄	-.06	.17	.22	.21	.22	<u>0.10</u>						
決定得点	-.16	-.05	.00	.01	.03	.64	<u>0.24</u>					
後肢側望	.04	-.14	-.17	-.15	-.15	-.36	-.20	<u>0.23</u>				
後肢後望	.08	.06	.06	.05	.04	.49	.27	-.12	<u>0.10</u>			
蹄の角度	-.19	-.15	-.11	-.11	-.11	.44	.39	-.11	.18	<u>0.06</u>		
空胎日数	-.37	-.50	-.54	-.54	-.52	-.08	.12	.19	-.02	-.12	<u>0.10</u>	
受胎率	.55	.64	.61	.59	.58	-.02	-.17	-.14	-.09	.09	-.87	<u>0.06</u>

表12-7. 放し飼い集団における真の生産期間、体型形質および繁殖性に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	TPL 36	TPL 48	TPL 60	TPL 72	TPL 84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	歩様	空胎 日数	受胎 率
TPL36	<u>0.13</u>												
TPL48	.85	<u>0.06</u>											
TPL60	.47	.85	<u>0.06</u>										
TPL72	.27	.71	.97	<u>0.07</u>									
TPL84	.19	.64	.94	.99	<u>0.09</u>								
肢蹄	.06	.12	.14	.14	.13	<u>0.09</u>							
決定得点	.20	.16	.07	.05	.04	.59	<u>0.23</u>						
後肢側望	.04	.02	-.02	-.05	-.06	-.55	-.23	<u>0.14</u>					
後肢後望	.01	.03	.03	.03	.01	.64	.27	-.27	<u>0.08</u>				
蹄の角度	.01	-.04	-.11	-.13	-.14	.38	.32	-.28	.24	<u>0.06</u>			
歩様	.10	.20	.24	.22	.20	.80	.42	-.44	.60	.33	<u>0.06</u>		
空胎日数	.90	.64	.22	.02	-.06	.04	.20	.06	.00	.04	.00	<u>0.09</u>	
受胎率	-.88	-.58	-.16	.02	.08	-.07	-.21	.00	-.02	-.06	-.06	-.93	<u>0.09</u>

表12-8. 放し飼い集団における機能的生産期間、体型形質および繁殖性に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	FPL 36	FPL 48	FPL 60	FPL 72	FPL 84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	歩様	空胎 日数	受胎 率
FPL36	<u>0.11</u>												
FPL48	.78	<u>0.04</u>											
FPL60	.35	.84	<u>0.06</u>										
FPL72	.19	.73	.98	<u>0.08</u>									
FPL84	.15	.70	.97	1.00	<u>0.09</u>								
肢蹄	.04	.11	.14	.14	.14	<u>0.10</u>							
決定得点	.19	.14	.05	.04	.03	.59	<u>0.22</u>						
後肢側望	.03	-.03	-.06	-.07	-.08	-.54	-.23	<u>0.14</u>					
後肢後望	-.03	.02	.02	.02	.01	.63	.28	-.27	<u>0.08</u>				
蹄の角度	-.03	-.14	-.16	-.14	-.16	.40	.33	-.28	.28	<u>0.06</u>			
歩様	.07	.20	.23	.23	.21	.80	.41	-.44	.59	.34	<u>0.06</u>		
空胎日数	.87	.48	.06	-.10	-.13	.01	.18	.07	-.02	.02	-.02	<u>0.09</u>	
受胎率	-.86	-.46	-.02	.12	.15	-.06	-.21	.01	-.01	-.03	.00	-.91	<u>0.08</u>

表12-9. 放し飼い集団における真の在群期間、体型形質および繁殖性に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	THL 36	THL 48	THL 60	THL 72	THL 84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	歩様	空胎 日数	受胎 率
THL36	<u>0.01</u>												
THL48	.91	<u>0.03</u>											
THL60	.88	.98	<u>0.05</u>										
THL72	.84	.96	.99	<u>0.07</u>									
THL84	.81	.93	.98	.99	<u>0.09</u>								
肢蹄	-.02	.14	.15	.14	.13	<u>0.11</u>							
決定得点	-.11	-.05	-.02	-.01	-.01	.59	<u>0.23</u>						
後肢側望	.03	-.01	-.02	-.05	-.06	-.55	-.23	<u>0.20</u>					
後肢後望	-.08	.07	.05	.03	.02	.64	.27	-.27	<u>0.10</u>				
蹄の角度	-.10	-.11	-.12	-.14	-.14	.38	.33	-.28	.24	<u>0.06</u>			
歩様	.24	.26	.23	.21	.19	.81	.43	-.44	.60	.42	<u>0.08</u>		
空胎日数	-.24	-.25	-.32	-.38	-.40	-.01	.18	.18	-.03	-.11	-.11	<u>0.07</u>	
受胎率	.35	.43	.44	.45	.45	-.08	-.22	-.12	-.04	.05	.00	-.81	<u>0.05</u>

後肢側望は受胎率との間に無相関から低い負の遺伝相関、空胎日数との間には無相関から+0.20 未満の低い正の遺伝相関が推定された。後肢側望と空胎日数の遺伝相関は両集団において Zink ら (2011) が報告した+0.27 よりも低く推定された。歩様は、空胎日数との間に-0.18 から 0.00 の範囲で低い負の遺伝相関が推定される場合があった。

一方、蹄の角度と歩様は受胎率との間に無相関であったが、空胎日数との間で低い負の遺伝相関が推定された。特に、歩様と空胎日数との間には-0.11 から-0.18 の低い負の遺伝相関が認められ、Zink ら (2011) が報告した-0.10 よりも若干高い負の相関であった。このように歩様は PL および HL との遺伝的関係のみならず繁殖性と

の関係も明らかになった。加えて、歩様は他の肢蹄形質と比較し、肢蹄得率との遺伝相関が+0.82 から+0.88 と非常に高いことから、歩様に対する選抜は肢蹄得率の改良に役立つことが判明した。本分析により、歩様に関して生産寿命および空胎日数に対する望ましい遺伝相関が認められたことから、歩様に対する選抜が間接的に生産寿命および繁殖性の向上に寄与する可能性が示唆された。

表12-10. 放し飼い集団における機能的在群期間、体型形質および繁殖性に関する遺伝率（対角）および遺伝相関（非対角）

	FHL 36	FHL 48	FHL 60	FHL 72	FHL 84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	歩様	空胎 日数	受胎 率
FHL36	<u>0.00</u>												
FHL48	.80	<u>0.02</u>											
FHL60	.75	.98	<u>0.05</u>										
FHL72	.74	.97	1.00	<u>0.07</u>									
FHL84	.74	.96	.99	1.00	<u>0.09</u>								
肢蹄	-.09	.07	.13	.14	.13	<u>0.10</u>							
決定得点	-.16	-.11	-.04	-.01	.00	.59	<u>0.23</u>						
後肢側望	-.02	-.02	-.05	-.06	-.07	-.55	-.23	<u>0.14</u>					
後肢後望	-.31	.02	.03	.01	.00	.63	.28	-.28	<u>0.08</u>				
蹄の角度	-.19	-.19	-.16	-.15	-.16	.38	.33	-.28	.26	<u>0.06</u>			
歩様	-.06	.15	.20	.20	.19	.79	.41	-.45	.59	.32	<u>0.06</u>		
空胎日数	-.38	-.35	-.39	-.43	-.44	-.08	.12	.19	-.02	-.12	-.18	<u>0.07</u>	
受胎率	.27	.43	.45	.48	.48	-.02	-.17	-.14	-.09	.09	.06	-.78	<u>0.06</u>

4. 参考文献

- 1) 萩谷功一, 大澤剛史, 増田豊, 鈴木三義, 山崎武志, 長峰慶隆, 富樫研治. 2012. ホルスタイン種における在群期間と泌乳・体型形質の遺伝相関の年代的な変化. 日畜会報. 83: 1-19
- 2) Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). Proc. 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Montpellier, France. CD-ROM communication 28:07.
- 3) Pe´rez-Cabal MA, Garcí’a C, Gonza´lez-Recio O, Alenda R. 2006. Genetic and Phenotypic Relationships Among Locomotion Type Traits, Profit, Production, Longevity, and Fertility in Spanish Dairy Cows. J. Dairy Sci. 76: 1455-1465. J. Dairy Sci. 89:1776–1783.
- 4) Tsuruta S, Misztal I, Lawlor TJ. 2004. Genetic correlations among production, body size, udder, and productive life traits over time in Holsteins. J. Dairy Sci. 87: 1457-1468.
- 5) Weigel KA, Gianola D. 1993. A computationally simple bayesian method for estimation of heterogeneous within-herd phenotypic variances. J. Dairy Sci. 76: 1455-1465.
- 6) Zink V, Štípková M, Lassen J. 2011. Genetic parameters for female fertility, locomotion, body condition score, and linear type traits in Czech Holstein cattle. J. Dairy Sci. 94 :5176–5182.

附表12-1. 繋ぎ飼い集団における真の生産期間、体型形質および繁殖性に関する分散共分散の推定値

	TPL36	TPL48	TPL60	TPL72	TPL84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	空胎 日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）												
TPL36	<u>0.597</u>											
TPL48	0.629	<u>0.793</u>										
TPL60	0.583	1.011	<u>1.869</u>									
TPL72	0.594	1.378	3.110	<u>5.600</u>								
TPL84	0.614	1.784	4.455	8.283	<u>12.426</u>							
肢蹄	5.76E-2	8.46E-2	0.202	0.364	0.501	<u>0.524</u>						
決定得点	0.192	0.154	0.174	0.230	0.275	0.525	<u>1.261</u>					
後肢側望	6.05E-2	5.69E-2	-3.91E-3	-6.92E-2	-0.139	-0.176	-0.149	<u>0.471</u>				
後肢後望	1.50E-2	2.51E-2	4.45E-2	3.92E-2	3.29E-2	0.152	0.124	-4.16E-2	<u>0.174</u>			
蹄の角度	3.14E-3	-1.97E-2	-4.78E-2	-8.01E-2	-0.131	0.104	0.128	-2.88E-2	2.38E-2	<u>0.102</u>		
空胎日数	22.900	19.932	10.451	0.242	-9.711	1.349	8.499	3.108	0.497	0.193	<u>1.19E+3</u>	
受胎率	-0.218	-0.194	-0.115	-3.41E-2	4.65E-2	-1.67E-2	-7.46E-2	-2.29E-2	-1.01E-2	-2.63E-3	-10.240	<u>0.100</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）												
TPL36	<u>3.740</u>											
TPL48	3.265	<u>8.970</u>										
TPL60	3.056	12.816	<u>30.122</u>									
TPL72	2.863	15.637	42.210	<u>71.673</u>								
TPL84	2.736	17.325	49.660	90.135	<u>1.25E+2</u>							
肢蹄	-9.88E-2	8.05E-2	0.326	0.654	0.929	<u>4.905</u>						
決定得点	-1.67E-2	0.270	0.666	1.132	1.538	2.253	<u>3.870</u>					
後肢側望	2.26E-2	-2.68E-2	-4.71E-2	-0.103	-0.154	-0.353	-0.248	<u>1.557</u>				
後肢後望	2.44E-2	5.52E-2	0.122	0.211	0.274	1.008	0.504	-0.168	<u>1.618</u>			
蹄の角度	1.86E-2	4.78E-2	8.01E-2	0.126	0.178	0.801	0.371	-3.27E-2	0.137	<u>1.578</u>		
空胎日数	1.43E+2	76.116	51.085	24.620	4.008	-7.417	-5.057	3.264	0.709	4.56E-2	<u>9.99E+3</u>	
受胎率	-1.312	-0.684	-0.415	-0.165	2.41E-2	3.60E-2	2.10E-2	-1.82E-2	-1.51E-2	-7.43E-3	-90.009	<u>1.000</u>

附表12-2. 繋ぎ飼い集団における機能的生産期間、体型形質および繁殖性に関する分散共分散の推定値

	FPL36	FPL48	FPL60	FPL72	FPL84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	空胎 日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）												
FPL36	<u>0.592</u>											
FPL48	0.591	<u>0.785</u>										
FPL60	0.549	1.112	<u>2.258</u>									
FPL72	0.544	1.590	3.840	<u>6.962</u>								
FPL84	0.581	2.083	5.390	10.022	<u>14.617</u>							
肢蹄	-4.88E-4	4.89E-2	0.192	0.363	0.551	<u>0.543</u>						
決定得点	0.160	0.164	0.179	0.186	0.248	0.498	<u>1.233</u>					
後肢側望	7.97E-2	6.69E-2	-2.36E-2	-0.114	-0.215	-0.195	-0.147	<u>0.472</u>				
後肢後望	2.35E-2	4.46E-2	6.82E-2	7.09E-2	6.81E-2	0.135	0.138	-2.54E-2	<u>0.182</u>			
蹄の角度	1.48E-2	4.83E-3	-1.91E-2	-7.18E-2	-0.127	9.19E-2	0.149	-1.67E-2	3.21E-2	<u>0.113</u>		
空胎日数	20.334	12.952	-0.677	-15.740	-27.644	-0.228	6.363	3.171	0.396	0.122	<u>1.14E+3</u>	
受胎率	-0.188	-0.120	-6.78E-3	0.112	0.205	-6.06E-3	-4.86E-2	-1.29E-2	-2.03E-3	5.87E-3	-9.822	<u>9.97E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）												
FPL36	<u>3.586</u>											
FPL48	3.038	<u>8.657</u>										
FPL60	2.714	12.363	<u>29.524</u>									
FPL72	2.445	15.048	41.392	<u>70.486</u>								
FPL84	2.261	16.667	48.778	88.828	<u>1.23E+2</u>							
肢蹄	-0.241	-0.115	7.51E-2	0.374	0.601	<u>4.913</u>						
決定得点	-0.343	-0.175	0.111	0.516	0.838	2.277	<u>3.907</u>					
後肢側望	1.83E-2	-2.65E-2	-3.57E-2	-8.66E-2	-0.129	-0.353	-0.245	<u>1.566</u>				
後肢後望	-1.07E-2	4.26E-3	5.41E-2	0.123	0.172	1.013	0.499	-0.174	<u>1.616</u>			
蹄の角度	7.40E-3	2.48E-2	4.50E-2	9.48E-2	0.141	0.802	0.361	-3.50E-2	0.135	<u>1.575</u>		
空胎日数	1.32E+2	61.903	32.226	3.684	-19.220	-11.240	-13.512	3.307	-0.124	-6.78E-2	<u>9.44E+3</u>	
受胎率	-1.229	-0.552	-0.228	4.42E-2	0.259	6.59E-2	9.50E-2	-2.48E-2	-1.17E-2	-1.09E-2	-86.973	<u>1.000</u>

附表12-3. 繋ぎ飼い集団における真の在群期間、体型形質および繁殖性に関する分散共分散の推定値

	THL36	THL48	THL60	THL72	THL84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	空胎 日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）												
THL36	<u>4.85E-4</u>											
THL48	5.83E-3	<u>0.126</u>										
THL60	1.89E-2	0.435	<u>1.600</u>									
THL72	3.69E-2	0.877	3.292	<u>6.868</u>								
THL84	5.55E-2	1.355	5.134	10.776	<u>16.991</u>							
肢蹄	-3.40E-3	3.02E-2	0.182	0.407	0.628	<u>0.528</u>						
決定得点	-1.00E-2	-4.60E-2	-1.53E-2	3.39E-2	0.107	0.529	<u>1.255</u>					
後肢側望	4.19E-4	-1.36E-2	-8.25E-2	-0.173	-0.281	-0.176	-0.160	<u>0.465</u>				
後肢後望	-2.44E-5	1.42E-2	4.90E-2	5.84E-2	6.24E-2	0.153	0.126	-3.96E-2	<u>0.174</u>			
蹄の角度	-1.85E-3	-2.42E-2	-6.24E-2	-0.105	-0.163	0.101	0.126	-2.87E-2	2.32E-2	<u>0.102</u>		
空胎日数	-0.227	-3.588	-14.865	-32.341	-50.616	-1.992	1.104	1.318	-0.224	-9.88E-2	<u>6.09E+2</u>	
受胎率	2.75E-3	4.47E-2	0.168	0.358	0.553	1.72E-2	-1.15E-2	-7.57E-3	-3.29E-3	2.47E-3	-5.521	<u>6.56E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）												
THL36	<u>0.154</u>											
THL48	0.541	<u>6.466</u>										
THL60	0.838	12.964	<u>36.762</u>									
THL72	1.040	17.338	55.781	<u>99.366</u>								
THL84	1.163	19.960	67.227	1.29E+2	<u>1.82E+2</u>							
肢蹄	1.64E-2	0.173	0.472	0.870	1.247	<u>4.901</u>						
決定得点	2.54E-2	0.304	0.817	1.437	1.973	2.252	<u>3.871</u>					
後肢側望	-2.48E-3	-2.70E-2	-3.97E-2	-8.86E-2	-0.138	-0.353	-0.242	<u>1.560</u>				
後肢後望	2.30E-3	3.95E-2	0.107	0.215	0.300	1.007	0.502	-0.169	<u>1.618</u>			
蹄の角度	4.49E-3	3.70E-2	8.34E-2	0.137	0.209	0.803	0.372	-3.31E-2	0.138	<u>1.578</u>		
空胎日数	0.593	-4.905	-17.963	-34.968	-51.047	-3.395	-3.490	2.707	0.193	-0.404	<u>5.72E+3</u>	
受胎率	1.13E-2	0.161	0.361	0.574	0.771	7.22E-5	1.22E-2	-1.70E-2	-1.33E-2	-6.45E-3	-63.751	<u>1.000</u>

附表12-4. 繋ぎ飼い集団における機能的在群期間、体型形質および繁殖性に関する分散共分散の推定値

	FHL36	FHL48	FHL60	FHL72	FHL84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	空胎 日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）												
FHL36	<u>7.35E-4</u>											
FHL48	6.64E-3	<u>0.125</u>										
FHL60	1.96E-2	0.447	<u>1.692</u>									
FHL72	3.74E-2	0.915	3.521	<u>7.387</u>								
FHL84	5.83E-2	1.408	5.422	11.407	<u>17.709</u>							
肢蹄	-1.10E-3	4.39E-2	0.208	0.422	0.669	<u>0.529</u>						
決定得点	-4.81E-3	-1.95E-2	6.91E-3	4.00E-2	0.139	0.524	<u>1.256</u>					
後肢側望	7.70E-4	-3.49E-2	-0.154	-0.273	-0.418	-0.177	-0.150	<u>0.465</u>				
後肢後望	8.65E-4	9.24E-3	3.26E-2	5.14E-2	6.26E-2	0.149	0.128	-3.33E-2	<u>0.176</u>			
蹄の角度	-1.70E-3	-1.67E-2	-4.80E-2	-9.37E-2	-0.146	0.104	0.140	-2.33E-2	2.46E-2	<u>0.105</u>		
空胎日数	-0.243	-4.338	-17.308	-35.821	-54.068	-1.554	0.986	1.025	-0.125	-9.49E-2	<u>6.04E+2</u>	
受胎率	3.66E-3	5.55E-2	0.196	0.397	0.596	1.37E-2	-5.26E-3	-1.69E-3	-3.64E-3	3.39E-3	-5.256	<u>6.05E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）												
FHL36	<u>0.154</u>											
FHL48	0.538	<u>6.448</u>										
FHL60	0.833	12.913	<u>36.606</u>									
FHL72	1.032	17.246	55.481	<u>98.784</u>								
FHL84	1.151	19.844	66.862	1.28E+2	<u>1.81E+2</u>							
肢蹄	1.32E-2	0.147	0.408	0.789	1.138	<u>4.901</u>						
決定得点	1.73E-2	0.239	0.676	1.239	1.713	2.254	<u>3.874</u>					
後肢側望	-3.01E-3	-1.47E-2	3.53E-3	-2.96E-2	-5.83E-2	-0.353	-0.247	<u>1.561</u>				
後肢後望	1.24E-3	3.83E-2	0.106	0.200	0.275	1.009	0.501	-0.174	<u>1.617</u>			
蹄の角度	4.19E-3	2.91E-2	6.56E-2	0.117	0.182	0.801	0.363	-3.63E-2	0.137	<u>1.576</u>		
空胎日数	0.508	-5.463	-19.269	-37.079	-53.876	-3.726	-3.463	2.917	0.120	-0.412	<u>5.73E+3</u>	
受胎率	1.12E-2	0.165	0.375	0.597	0.793	-2.45E-3	4.99E-3	-2.38E-2	-1.45E-2	-7.55E-3	-63.888	<u>1.000</u>

附表12-5. 放し飼いや集団における真の生産期間、体型形質および繁殖性に関する分散共分散の推定値

	TPL36	TPL48	TPL60	TPL72	TPL84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	歩様	空胎 日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）													
TPL36	<u>0.535</u>												
TPL48	0.514	<u>0.684</u>											
TPL60	0.525	1.076	<u>2.324</u>										
TPL72	0.513	1.520	3.816	<u>6.649</u>									
TPL84	0.502	1.904	5.148	9.200	<u>12.899</u>								
肢蹄	3.47E-2	7.14E-2	0.159	0.267	0.355	<u>0.563</u>							
決定得点	0.173	0.150	0.129	0.144	0.172	0.517	<u>1.366</u>						
後肢側望	1.42E-2	9.30E-3	-1.52E-2	-6.17E-2	-0.114	-0.213	-0.136	<u>0.266</u>					
後肢後望	3.55E-3	1.09E-2	1.85E-2	2.74E-2	2.13E-2	0.189	0.126	-5.49E-2	<u>0.157</u>				
蹄の角度	3.48E-3	-1.22E-2	-5.75E-2	-0.116	-0.169	9.61E-2	0.127	-4.77E-2	3.24E-2	<u>0.112</u>			
歩様	2.43E-2	5.64E-2	0.126	0.197	0.250	0.208	0.169	-7.85E-2	8.23E-2	3.77E-2	<u>0.119</u>		
空胎日数	21.084	17.054	10.975	1.288	-6.659	0.925	7.349	0.976	4.23E-2	0.406	3.78E-2	<u>1.02E+3</u>	
受胎率	-0.199	-0.148	-7.52E-2	1.54E-2	8.80E-2	-1.65E-2	-7.54E-2	2.70E-4	-2.75E-3	-6.23E-3	-6.40E-3	-9.231	<u>9.60E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）													
TPL36	<u>3.680</u>												
TPL48	3.398	<u>11.016</u>											
TPL60	3.248	16.244	<u>37.089</u>										
TPL72	3.148	19.622	50.902	<u>82.360</u>									
TPL84	3.059	21.445	58.625	1.01E+2	<u>1.33E+2</u>								
肢蹄	-0.146	3.04E-2	0.239	0.464	0.651	<u>5.393</u>							
決定得点	-0.155	0.126	0.501	0.894	1.137	2.563	<u>4.605</u>						
後肢側望	7.51E-2	2.35E-2	-3.24E-2	-7.48E-2	-9.43E-2	-0.788	-0.449	<u>1.634</u>					
後肢後望	-1.84E-2	-1.34E-2	-7.73E-3	-1.33E-2	7.12E-3	1.325	0.652	-0.267	<u>1.724</u>				
蹄の角度	-1.09E-2	3.62E-3	3.31E-2	5.24E-2	6.75E-2	0.715	0.364	-5.44E-2	0.198	<u>1.777</u>			
歩様	-8.34E-2	-1.43E-2	5.51E-2	0.157	0.275	1.649	0.984	-0.287	0.569	0.231	<u>1.848</u>		
空胎日数	1.43E+2	78.854	51.533	29.806	11.984	-10.389	-10.621	5.057	-0.713	-1.464	-5.401	<u>1.00E+4</u>	
受胎率	-1.311	-0.636	-0.313	-6.78E-2	0.112	5.58E-2	8.51E-2	-3.65E-2	-1.70E-2	-2.48E-3	2.11E-2	-92.254	<u>1.000</u>

附表12-6. 放し飼いや集団における機能的生産期間、体型形質および繁殖性に関する分散共分散の推定値

	FPL36	FPL48	FPL60	FPL72	FPL84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	歩様	空胎 日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）													
FPL36	<u>0.461</u>												
FPL48	0.374	<u>0.503</u>											
FPL60	0.347	0.872	<u>2.149</u>										
FPL72	0.337	1.351	3.737	<u>6.724</u>									
FPL84	0.380	1.803	5.157	9.373	<u>13.136</u>								
肢蹄	1.93E-2	6.06E-2	0.156	0.282	0.376	<u>0.573</u>							
決定得点	0.147	0.112	8.58E-2	0.124	0.144	0.519	<u>1.346</u>						
後肢側望	1.07E-2	-1.27E-2	-4.80E-2	-9.14E-2	-0.147	-0.212	-0.138	<u>0.271</u>					
後肢後望	-7.77E-3	5.43E-3	1.19E-2	1.87E-2	1.14E-2	0.192	0.129	-5.64E-2	<u>0.160</u>				
蹄の角度	-5.80E-3	-3.21E-2	-7.52E-2	-0.122	-0.186	9.81E-2	0.126	-4.80E-2	3.65E-2	<u>0.108</u>			
歩様	1.70E-2	5.01E-2	0.118	0.205	0.266	0.210	0.167	-8.06E-2	8.25E-2	3.94E-2	<u>0.122</u>		
空胎日数	18.643	10.770	2.624	-7.850	-15.078	0.354	6.506	1.085	-0.255	0.181	-0.271	<u>9.89E+2</u>	
受胎率	-0.178	-9.96E-2	-9.92E-3	9.63E-2	0.166	-1.43E-2	-7.26E-2	2.05E-3	-1.78E-3	-2.62E-3	-4.85E-4	-8.738	<u>9.26E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）													
FPL36	<u>3.626</u>												
FPL48	3.295	<u>10.822</u>											
FPL60	3.095	15.950	<u>36.605</u>										
FPL72	2.956	19.237	50.241	<u>81.443</u>									
FPL84	2.828	20.997	57.865	99.738	<u>1.32E+2</u>								
肢蹄	-0.258	-0.124	5.41E-2	0.255	0.440	<u>5.394</u>							
決定得点	-0.425	-0.241	5.52E-2	0.379	0.610	2.576	<u>4.639</u>						
後肢側望	6.91E-2	2.52E-2	-2.89E-2	-7.91E-2	-0.100	-0.790	-0.452	<u>1.630</u>					
後肢後望	-4.02E-2	-4.83E-2	-4.67E-2	-5.22E-2	-2.89E-2	1.325	0.653	-0.267	<u>1.723</u>				
蹄の角度	-3.21E-2	-1.77E-2	5.59E-3	1.45E-2	3.97E-2	0.715	0.367	-5.46E-2	0.196	<u>1.781</u>			
歩様	-0.122	-6.69E-2	-4.34E-3	8.24E-2	0.195	1.651	0.992	-0.286	0.569	0.231	<u>1.848</u>		
空胎日数	1.38E+2	72.635	43.798	21.337	3.309	-13.465	-18.261	4.701	-1.370	-2.112	-6.397	<u>9.80E+3</u>	
受胎率	-1.281	-0.576	-0.234	1.35E-2	0.193	8.70E-2	0.160	-3.54E-2	-9.79E-3	2.33E-3	2.81E-2	-91.146	<u>1.000</u>

附表12-7. 放し飼い集団における真の在群期間、体型形質および繁殖性に関する分散共分散の推定値

	THL36	THL48	THL60	THL72	THL84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	歩様	空胎 日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）													
THL36	<u>1.74E-3</u>												
THL48	1.91E-2	<u>0.256</u>											
THL60	5.62E-2	0.766	<u>2.374</u>										
THL72	0.103	1.421	4.486	<u>8.617</u>									
THL84	0.143	2.000	6.410	12.443	<u>18.134</u>								
肢蹄	-6.79E-4	5.43E-2	0.180	0.314	0.431	<u>0.569</u>							
決定得点	-5.27E-3	-3.21E-2	-3.06E-2	-3.43E-2	-2.75E-2	0.525	<u>1.384</u>						
後肢側望	7.29E-4	-1.65E-3	-1.96E-2	-6.93E-2	-0.135	-0.213	-0.140	<u>0.266</u>					
後肢後望	-1.31E-3	1.38E-2	3.12E-2	3.91E-2	3.92E-2	0.191	0.127	-5.48E-2	<u>0.158</u>				
蹄の角度	-1.34E-3	-1.83E-2	-6.01E-2	-0.136	-0.203	9.67E-2	0.129	-4.85E-2	3.21E-2	<u>0.111</u>			
歩様	3.47E-3	4.55E-2	0.124	0.209	0.272	0.210	0.176	-7.76E-2	8.18E-2	3.96E-2	<u>0.119</u>		
空胎日数	-0.203	-2.633	-9.956	-22.591	-35.197	-0.538	1.503	1.003	-0.142	0.200	-0.989	<u>4.19E+2</u>	
受胎率	3.48E-3	5.30E-2	0.164	0.320	0.467	-3.21E-3	-2.63E-2	9.73E-4	-1.48E-4	-5.02E-3	5.87E-3	-4.006	<u>5.81E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）													
THL36	<u>0.283</u>												
THL48	0.905	<u>9.101</u>											
THL60	1.330	17.208	<u>45.540</u>										
THL72	1.585	22.193	66.435	<u>1.12E+2</u>									
THL84	1.720	24.906	77.999	1.41E+2	<u>1.90E+2</u>								
肢蹄	1.41E-2	0.134	0.364	0.641	0.895	<u>5.385</u>							
決定得点	2.26E-2	0.276	0.745	1.256	1.611	2.556	<u>4.592</u>						
後肢側望	-6.80E-3	-3.53E-2	-9.51E-2	-0.159	-0.191	-0.786	-0.446	<u>1.632</u>					
後肢後望	-6.52E-5	-5.29E-3	5.22E-3	1.29E-2	4.39E-2	1.323	0.652	-0.267	<u>1.724</u>				
蹄の角度	1.52E-3	1.17E-2	4.46E-2	8.11E-2	0.106	0.714	0.363	-5.37E-2	0.199	<u>1.778</u>			
歩様	4.39E-3	4.41E-2	0.138	0.278	0.433	1.646	0.979	-0.287	0.569	0.230	<u>1.847</u>		
空胎日数	1.568	0.604	-12.363	-28.130	-43.124	-5.775	-5.480	2.532	-0.106	-1.101	-2.742	<u>5.76E+3</u>	
受胎率	1.32E-2	0.163	0.412	0.660	0.862	1.59E-2	4.69E-2	-1.69E-2	-2.91E-2	-7.40E-3	-5.67E-3	-65.884	<u>1.000</u>

附表12-8. 放し飼い集団における機能的在群期間、体型形質および繁殖性に関する分散共分散の推定値

	FHL36	FHL48	FHL60	FHL72	FHL84	肢蹄	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	歩様	空胎 日数	受胎率
遺伝分散（対角）および遺伝共分散（下三角）													
FHL36	<u>1.08E-3</u>												
FHL48	1.20E-2	<u>0.211</u>											
FHL60	3.72E-2	0.682	<u>2.280</u>										
FHL72	7.15E-2	1.310	4.420	<u>8.644</u>									
FHL84	0.104	1.890	6.392	12.563	<u>18.341</u>								
肢蹄	-2.27E-3	2.54E-2	0.150	0.305	0.433	<u>0.572</u>							
決定得点	-6.15E-3	-5.87E-2	-6.73E-2	-4.30E-2	-1.83E-2	0.524	<u>1.377</u>						
後肢側望	-3.15E-4	-5.34E-3	-3.69E-2	-8.75E-2	-0.154	-0.217	-0.141	<u>0.272</u>					
後肢後望	-4.01E-3	3.12E-3	1.63E-2	1.73E-2	3.57E-3	0.190	0.129	-5.79E-2	<u>0.157</u>				
蹄の角度	-2.07E-3	-2.80E-2	-7.72E-2	-0.145	-0.225	9.41E-2	0.126	-4.76E-2	3.33E-2	<u>0.108</u>			
歩様	-7.29E-4	2.47E-2	0.105	0.209	0.286	0.211	0.170	-8.29E-2	8.20E-2	3.68E-2	<u>0.123</u>		
空胎日数	-0.251	-3.290	-11.896	-25.575	-38.645	-0.808	1.387	1.152	-0.330	0.230	-1.398	<u>4.14E+2</u>	
受胎率	2.13E-3	4.75E-2	0.166	0.339	0.502	-3.13E-3	-2.99E-2	6.86E-4	1.07E-3	-3.30E-3	1.34E-2	-3.826	<u>5.87E-2</u>
残差分散（対角）および残差共分散（下三角）													
FHL36	<u>0.283</u>												
FHL48	0.906	<u>9.099</u>											
FHL60	1.334	17.184	<u>45.397</u>										
FHL72	1.595	22.149	66.174	<u>1.12E+2</u>									
FHL84	1.733	24.841	77.648	1.40E+2	<u>1.89E+2</u>								
肢蹄	1.23E-2	0.128	0.324	0.569	0.816	<u>5.383</u>							
決定得点	1.47E-2	0.216	0.584	1.004	1.321	2.557	<u>4.597</u>						
後肢側望	-6.50E-3	-3.66E-2	-9.29E-2	-0.162	-0.199	-0.783	-0.445	<u>1.628</u>					
後肢後望	1.32E-3	-3.46E-3	3.02E-3	1.31E-2	5.57E-2	1.324	0.650	-0.265	<u>1.724</u>				
蹄の角度	1.50E-3	1.34E-2	4.53E-2	7.31E-2	0.109	0.716	0.365	-5.43E-2	0.198	<u>1.780</u>			
歩様	6.63E-3	5.03E-2	0.132	0.252	0.397	1.645	0.983	-0.283	0.569	0.232	<u>1.844</u>		
空胎日数	1.501	7.30E-2	-13.163	-28.639	-43.093	-5.585	-5.401	2.429	3.73E-2	-1.121	-2.444	<u>5.77E+3</u>	
受胎率	1.54E-2	0.179	0.436	0.675	0.861	1.59E-2	4.96E-2	-1.66E-2	-3.02E-2	-8.75E-3	-1.13E-2	-66.020	<u>1.000</u>

第13章 欠測データを含む歩様に関する遺伝評価手法の検討

1. はじめに

歩様と長命性形質間の遺伝的関連が第12章で見出されている通り、歩様の遺伝的改良は長命性の改善に寄与すると期待される。しかしながら、歩様の体型審査はフリーストールおよびフリーバーン農家に限られることから、従来の体型審査形質の遺伝評価モデルでは歩様を有する雌牛のみしか遺伝評価値を計算できない。それゆえ、すべての体型審査受検個体について遺伝評価値を得るための遺伝評価モデルの開発が必要である。本章では、体型審査形質間の遺伝共分散を考慮した BLUP および ssGBLUP(single-step genomic BLUP)による多形質評価の有効性を検討することを目的とした。

2. 材料および方法

(1) データ

日本ホルスタイン登録協会が集積した2004年4月から2019年9月までの初産時の体型審査記録ならびに血縁記録を利用した。データ編集は、家畜改良センターが実施する体型審査形質の遺伝評価データの編集条件

表 13-1. 分析データの水準数

項目	データセット	
	歩様欠測なし	歩様欠測含む
牛群・審査年月日	15,764	62,089
記録をもつ個体数	96,701	410,573
総血縁個体数	530,261	1,202,383

(家畜改良センター 2019)に基づいて遂行した。そして、本分析では歩様に欠測を許容するか否かで分類した2種類のデータセットを作成し(表 13-1)、各データセットにより遺伝評価値をそれぞれ推定した。ここで、歩様に欠測がないデータセットを Data-NM、歩様に欠測を含むデータセットを Data-M と定義する。多形質評価に利用した歩様以外の形質は、肢蹄、後肢側望および後肢後望の3形質であった。これらの形質と歩様の間には、中から高い遺伝相関が存在することが第12章で明らかになっている。表 13-2 には、各データセットにおける体型審査形質の基礎統計量を示した。

本調査で利用した SNP データは、イルミナ社の低密度(LD)あるいは中密度(50K)チップで SNP 検査を行い、2019年までに誕生した30,742頭の記録(雄牛7,688頭、雌牛23,054頭)であった。ここで SNP データを有する雌牛は、初産時の体型審査記録を有する個体に限定した。図 13-1 には、SNP データを有する個体数を性別ごとに示した。欠測の遺伝子型の補完(インプュテーション)は、Findhap.f90 プログラム(VanRaden ら 2011)で実施した。

表 13-2. 各データセットにおける体型審査形質の基礎統計量

データセット	形質	平均	SD	最小値	最大値	
歩様欠測なし	Data-NM	歩様	4.8	1.5	1	9
		肢蹄	80.0	2.8	66	92
歩様欠測含む	Data-M	後肢側望	5.1	1.4	1	9
		後肢後望	5.0	1.4	1	9

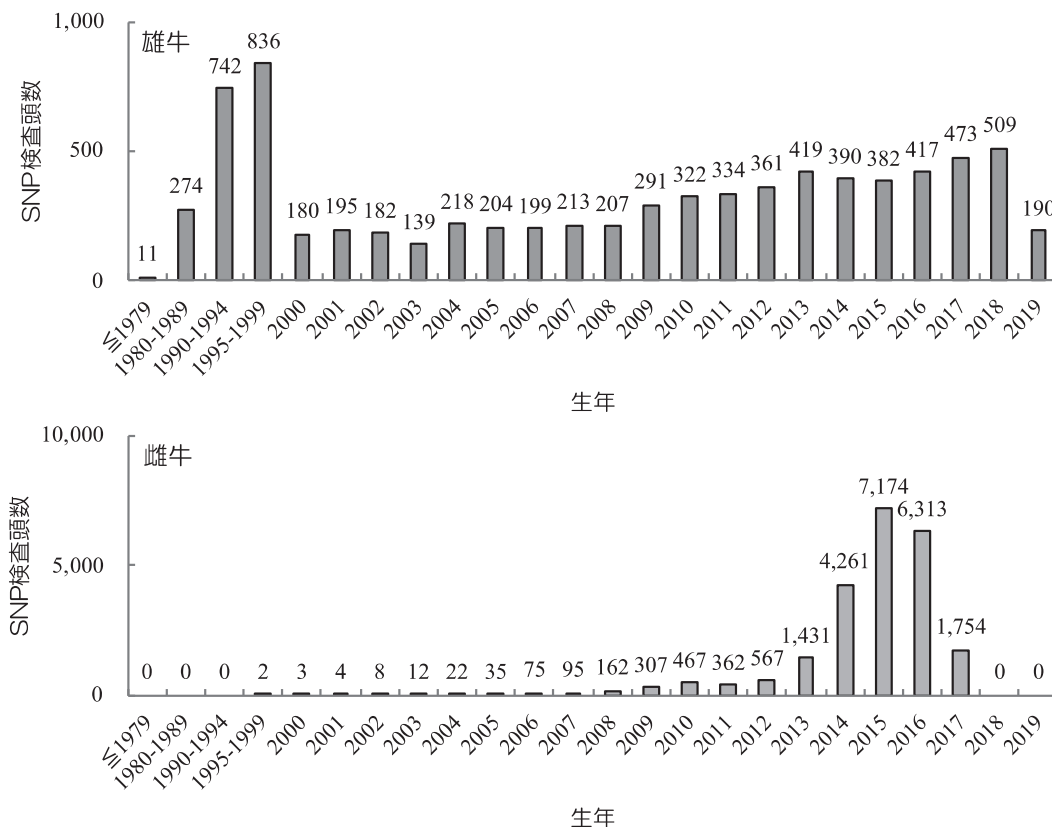


図 13-1. 生年ごとの SNP 検査頭数(上図 雄牛、下図 雌牛)

(2) 統計モデル

前述した2種類のデータセットを利用し、Data-NM に単形質アニマルモデル、そして Data-M に多形質アニマルモデルをそれぞれ当てはめ、BLUP および ssGBLUP で遺伝評価値を推定した。ここで ssGBLUP とは、従来の BLUP に SNP 情報を考慮できるよう拡張した方法である。ゲノム情報を考慮することによって、SNP データを有する個体やその血縁では BLUP と比較して精度の高い遺伝評価値が得られると期待される。本分析に利用した統計モデルを行列式で表すと以下の通りである。

$$y = Xb + Zu + e$$

ここで、 \mathbf{y} は牛群内分散を事前に補正した各体型審査形質の観測値、 \mathbf{X} および \mathbf{Z} は母数および変量効果の計画行列、 \mathbf{b} は母数効果の解ベクトル、 \mathbf{u} は固体の変量効果に関するベクトル、 \mathbf{e} は残差である。母数効果には、牛群・審査年月日・審査員、審査月齢グループならびに泌乳ステージを考慮した。単形質モデルの混合モデル方程式(MME)は

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{X} & \mathbf{X}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{Z} \\ \mathbf{Z}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{X} & \mathbf{Z}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{Z} + (1/\sigma_a^2) * \mathbf{A}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{b}} \\ \hat{\mathbf{u}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{y} \\ \mathbf{Z}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{y} \end{bmatrix}$$

と記述できる。ここで、 \mathbf{A} は分子血縁行列、 \mathbf{R} は残差の分散共分散行列、 σ_a^2 は相加的遺伝分散である。相加的遺伝および残差は $N(0, \mathbf{A}\sigma_a^2)$ および $N(0, \mathbf{I}\sigma_e^2)$ の正規分布にそれぞれ従うと仮定した。ここで、 \mathbf{I} は単位行列、 σ_e^2 は残差分散である。

多形質モデルでは、上記の \mathbf{y} 、 \mathbf{X} 、 \mathbf{Z} 、 \mathbf{b} 、 \mathbf{u} および \mathbf{e} は以下の通り拡張できる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{y}_2 \\ \mathbf{y}_3 \\ \mathbf{y}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_1 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{X}_2 & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{X}_3 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{X}_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{b}_2 \\ \mathbf{b}_3 \\ \mathbf{b}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_1 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Z}_2 & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{Z}_3 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{Z}_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \mathbf{u}_2 \\ \mathbf{u}_3 \\ \mathbf{u}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{e}_1 \\ \mathbf{e}_2 \\ \mathbf{e}_3 \\ \mathbf{e}_4 \end{bmatrix}$$

ここで添え字 1 から 4 はそれぞれ歩様、肢蹄、後肢側望および後肢後望の体型審査形質を表す。それらの形質の相加的遺伝および残差分散は、

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \mathbf{u}_2 \\ \mathbf{u}_3 \\ \mathbf{u}_4 \end{bmatrix} \sim N(0, \mathbf{A} \otimes \mathbf{V}_g), \quad \begin{bmatrix} \mathbf{e}_1 \\ \mathbf{e}_2 \\ \mathbf{e}_3 \\ \mathbf{e}_4 \end{bmatrix} \sim N(0, \mathbf{I} \otimes \mathbf{V}_e)$$

にそれぞれ従うと仮定した。分散共分散行列(\mathbf{V}_g および \mathbf{V}_e)は以下の通りである。

$$\mathbf{V}_g = \begin{bmatrix} \sigma_{a_1}^2 & \sigma_{a_{12}}^2 & \sigma_{a_{13}}^2 & \sigma_{a_{14}}^2 \\ \sigma_{a_{12}}^2 & \sigma_{a_2}^2 & \sigma_{a_{23}}^2 & \sigma_{a_{24}}^2 \\ \sigma_{a_{13}}^2 & \sigma_{a_{23}}^2 & \sigma_{a_3}^2 & \sigma_{a_{34}}^2 \\ \sigma_{a_{14}}^2 & \sigma_{a_{24}}^2 & \sigma_{a_{34}}^2 & \sigma_{a_4}^2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{V}_e = \begin{bmatrix} \sigma_{e_1}^2 & \sigma_{e_{12}}^2 & \sigma_{e_{13}}^2 & \sigma_{e_{14}}^2 \\ \sigma_{e_{12}}^2 & \sigma_{e_2}^2 & \sigma_{e_{23}}^2 & \sigma_{e_{24}}^2 \\ \sigma_{e_{13}}^2 & \sigma_{e_{23}}^2 & \sigma_{e_3}^2 & \sigma_{e_{34}}^2 \\ \sigma_{e_{14}}^2 & \sigma_{e_{24}}^2 & \sigma_{e_{34}}^2 & \sigma_{e_4}^2 \end{bmatrix},$$

ssGBLUP を応用した場合、MME の血縁行列は \mathbf{A} から \mathbf{H} に置き換わる。 \mathbf{H}^{-1} は下記の通り示される(Aguilar ら 2010)。

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

ここで、 \mathbf{G}^{-1} は VanRaden (2008)のゲノミック関係行列の逆行列、 \mathbf{A}_{22}^{-1} は SNP データを有する個体に関する分子血縁行列の逆行列である。 \mathbf{G} は以下の式から導出される (VanRaden 2008)。

$$\mathbf{G} = \frac{\mathbf{M}\mathbf{M}'}{2 \sum_{i=1}^m p_i(1 - p_i)}$$

ここで \mathbf{M} はマーカー行列、 m は SNP 数、 p は i 番目の SNP におけるアレル頻度である。本研究におけるアレル頻度は、1990 年以前に誕生した個体の SNP データを利用して計算した。 \mathbf{G} は半正定値であることから逆行列を得るために \mathbf{A}_{22} を加算した ($0.95\mathbf{G} + 0.05\mathbf{A}_{22}$)。

解の推定は、すべてのモデルにおいて Iteration on data (IOD) 法を実装した前処理付勾配 (Preconditioned Conjugate Gradiante, PCG) 法で行った(Tsuruta ら 2001)。PCG 法では与える前処理行列によって収束に要する反復回数が変わり得る。分析における多形質モデルでは、ブロック化した前処理行列を利用した。

(3) 期待信頼度の推定

次に、遺伝評価モデルの精度を比較するために期待信頼度(R^2)を推定した。 R^2 の近似的計算には、単形質 BLUP において Misztal と Wiggans(1988)、多形質 BLUP において Strabel ら(2001)の方法をそれぞれ応用した。さらに、ssGBLUP による R^2 の計算には、Misztal ら(2013)が提案したゲノミック関係行列 \mathbf{G} に基づいて SNP データ由来の寄与を加算する方法を採用した。信頼度の計算手順を簡潔に記すと以下の通りである (Bauer ら 2015)。

Step-1. Misztal と Wiggans(1988)により、単形質モデルで各形質の信頼度を推定。

Step-2. Step-1 で得られた信頼度に、SNP 情報の寄与を加算し信頼度を再計算した。まず初めに、 i 番目の SNP データを有する個体について、Step-1 で推定した信頼度を下記式により効果的な記録数へと変換した。

$$d_i = \alpha[1/(1 - R_i^2) - 1]$$

ここで α は分散比である。次に、SNP データを有する個体に関する血縁行列 (\mathbf{A}_{22}^{-1})を加算し、逆行列(\mathbf{Q}^{-1})を計算した。

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

ここで、 \mathbf{D} は記録および血縁からの寄与である。本分析では、Miształ ら(2013)が提案した第2の近似法を採用し、 \mathbf{G}^{-1} と \mathbf{A}_{22}^{-1} の対角要素のみを加算した。この後、 $R_i^2 = 1 - \alpha q^{ii}$ により SNP の寄与を加算した信頼度を得た。

Step-3. SNP データを有する個体以外について信頼度を再計算する。

Step-4. 多形質モデルでは、Strabel ら(2001)の方法で形質間の共分散を考慮し、下記式で信頼度を再推定した

$$R_i^2 = 1 - (\hat{\mathbf{W}}^{-1})_{ii} / (\mathbf{V}_g)_{ii}$$

ここで $\hat{\mathbf{W}}^{-1}$ は本牛とその後代における MME の左辺行列(LHS)の近似的な逆行列である。 $\hat{\mathbf{W}}$ は下記式により得られる。

$$\begin{aligned} \mathbf{W} &= (\mathbf{0}^{1/2} \mathbf{V}_e \mathbf{0}^{1/2})^{-1} + \mathbf{V}_g^{-1} \\ &+ \sum_j [m_j 1/3 \mathbf{V}_g^{-1} - m_j 2/3 \mathbf{V}_g^{-1} (4/3 \mathbf{V}_g^{-1} + \mathbf{V}_{g_j}^{-1})^{-1} 2/3 \mathbf{V}_g^{-1}] \end{aligned}$$

ここで、 $\mathbf{0}$ は効果的な記録数、 m_j は欠測形質の組み合わせを考慮した後代の記録数である。

事前分析の結果、上記のアルゴリズムで算出した ssGBLUP の信頼度は過大推定されることが明らかになった。その過大推定を調整するために、血縁情報のみから得られた信頼度と SNP データの寄与を加算後の信頼度間の比率を計算し、その比率に応じて信頼度の極端な上昇を軽減した。

(4) クロスバリデーションによる予測精度の検討

多形質評価の有効性を更に検討するために、交差検証(クロスバリデーション)を実施した。クロスバリデーションとは参照集団を利用して予測個体の評価値を推定し、実測値と比較してどの程度正確に予測できるかを検証する方法である。乳牛のゲノミック評価におけるクロスバリデーションでは種雄牛を予測個体とみなすことが一般的だが、本分析では歩様の遺伝率が低いこと、そして歩様の審査記録が少なく娘牛を十分に有する種雄牛を確保できないことからそれらを予測個体として扱うことは難しいと判断した。その代替として、歩様記録を有する雌牛の中からある牛群に在籍する個体を予測個体とみなしすなわち、それらの個体の歩様記録を欠測として扱う)、単形質および多形質の BLUP および ssGBLUP で推定した評価値の予測精度を検証した。

予測個体には無作為抽出した 100 牛群の 5,297 頭の雌牛を利用し、これらの個体のうち 415 頭が SNP 情報を持っていた。

予測精度の指標には、各モデルから得られた予測値を説明変数、歩様の牛群内分散補正後の表型値を目的変数とする線形回帰で得られた決定係数を利用した。

3. 分析結果

(1) 遺伝評価値と遺伝的トレンド

図 13-2 には、娘牛を 1 頭以上有する国内雄牛の歩様の遺伝評価値(標準化育種価)の遺伝的トレンドを示した。いずれのモデルにおいても 2012 年までの歩様のトレンドは同様の傾向を示し、2009 年から 2012 年にかけて好ましい方向へと改良傾向にあった。多形質 BLUP および ssGBLUP による遺伝的トレンドは、単形質のそれらと比較して、2013 年以降で異なる傾向を示した。これには、体型形質間の遺伝相関を考慮したこと、さらにはこれらの時期に誕生した雄牛はまだ娘牛数が少なく信頼度が低いために変動が生じた可能性がある。単形質 BLUP と比較したとき、その他のモデルから得られた遺伝的トレンドはやや過大推定の傾向にあった。表 13-3 には、各モデルより推定された遺伝評価値間の相関を示した。その相関は 0.66 から 0.89 の範囲にあり、モデル間で順位変動が生じる可能性が示唆された。特に、単形質と多形質モデルで得られる評価値間の相関は低い傾向にあった。

図 13-3 および 13-4 には、歩様記録を有する体型審査受検雌牛および歩様記録のない体型審査受検雌牛の遺伝的トレンドをそれぞれ示した。歩様記録を有する体型審査受検雌牛のトレンドは、年代にわたる変化が小さいものの、2009 年以降緩やかな正の方向へ改良傾向を示した。モデル間の遺伝的トレンドの変動は、雄牛に比べて小さいものの同様に存在した。遺伝評価値間の相関は 0.74 から 0.95 の範囲にあり、雄牛と同様に単形質および多形質モデル間の相関が低かった(表 13-3)。歩様記録のない体型審査受検雌牛では、多形質 BLUP および ssGBLUP の遺伝的トレンドは、ともに正の方向へ改良傾向にあった。両モデルから得られた遺伝評価値間の相関は 0.91 であった。

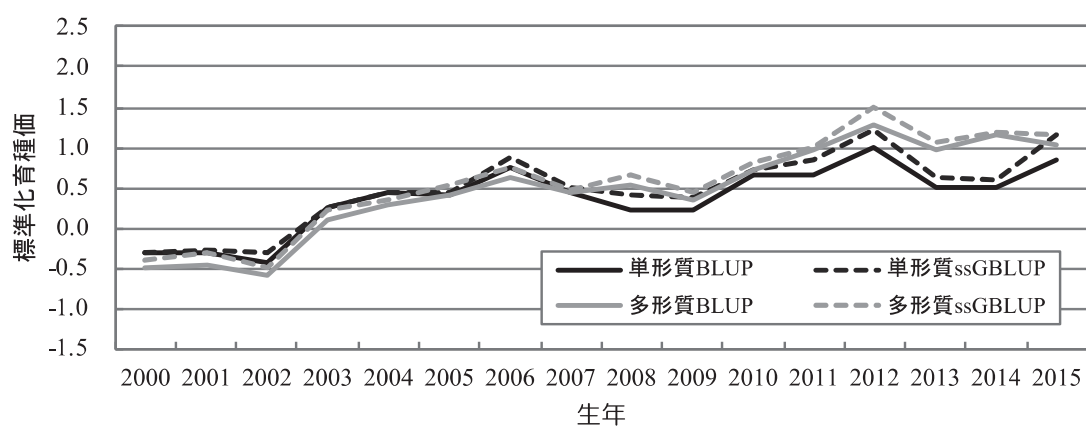


図 13-2. 歩様の遺伝的トレンド(娘牛を1頭以上有する国内雄牛)

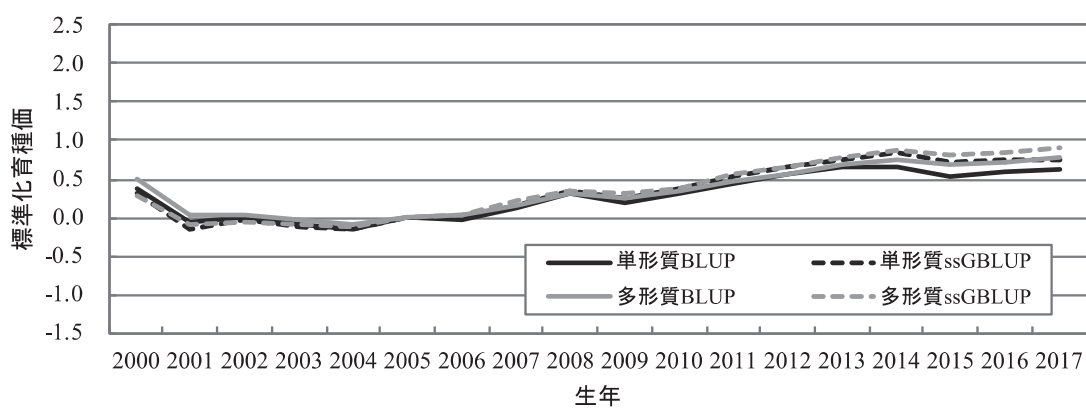


図 13-3. 歩様の遺伝的トレンド(歩様記録のある体型審査受検雌牛)

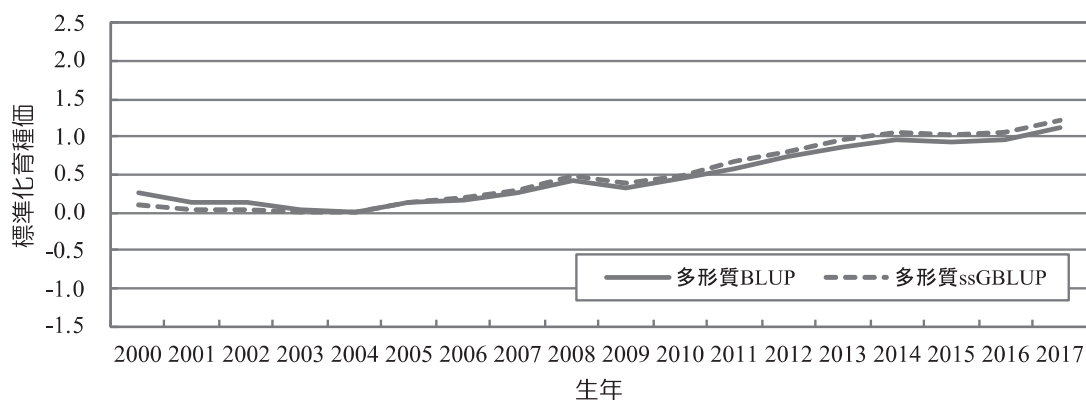


図 13-4. 歩様の遺伝的トレンド(歩様記録のない体型審査受検雌牛)

表 13-3. 各モデルから得られた遺伝評価値間の積率相関

モデル	(1)	(2)	(3)	(4)
単形質 BLUP	(1)	0.83	0.71	0.74
単形質 ssGBLUP	(2)	0.94	0.66	0.74
多形質 BLUP	(3)	0.77	0.75	0.89
多形質 ssGBLUP	(4)	0.74	0.77	0.95

上三角：歩様記録を有する娘牛1頭以上有する国内種雄牛

下三角：歩様記録を有する体型審査受検雌牛

(2) 期待信頼度の比較

表 13-4 には国内雄牛の期待信頼度(R^2)を示した。娘牛を有する雄牛では、多形質モデルを応用することによって R^2 が大きく改善した。多くの国内雄牛は、歩様を有する娘牛が例え少なかったとしても、その他の体型審査形質でより多くの娘牛を有すると考えられる。したがって、歩様以外の形質では歩様よりも高い R^2 が得られるため、それらの情報を考慮した多形質評価では歩様の R^2 の向上に大きく寄与したと推察される。一方、歩様記録を持つ娘牛がいない雄牛については、多形質 BLUP による R^2 の増加はわずかなものであった。娘牛の有無に関わらず、SNP 情報を考慮することで R^2 は向上した。

表 13-4. 各モデルから得られた SNP 情報を有する国内雄牛の期待信頼度(%)

項目	頭数	単形質		多形質	
		BLUP	ssGBLUP	BLUP	ssGBLUP
娘牛あり	2,903	24.1	43.1	55.1	73.6
娘牛なし	4,119	12.2	26.2	13.9	28.4

表 13-5. 各モデルから得られた体型審査受検雌牛の期待信頼度(%)

項目	頭数	単形質		多形質		
		BLUP	ssGBLUP	BLUP	ssGBLUP	
		体型審査受検雌牛	歩様あり	96,701	20.0	22.3
	歩様なし	313,872	--	--	26.2	28.9
体型審査受検雌牛	歩様あり	7,850	17.0	34.3	19.1	37.0
(SNP 検査済)	歩様なし	15,196	14.6	30.4	18.7	35.1

表 13-5 には体型審査受検雌牛について R^2 の推定結果を示した。歩様記録を有する雌牛では雄牛の結果に比べるとその差は小さいものの、同様に多形質 BLUP および ssBLUP を応用することによって R^2 は改善した。歩様記録のない体型審査受検雌牛の多形質 BLUP および ssBLUP 由来の R^2 は、歩様を有する個体のそれらと同程度であった。SNP データを有する体型審査受検雌牛においても、歩様の有無に限らず多形質および ssGBLUP は R^2 を改善する有効なモデリングであった。

(3) クロスバリデーション

表 13-5 には、クロスバリデーションによる予測性能の検証結果を示した。各モデルから得られた決定係数は、1.4 から 2.3% の範囲にあった。歩様の遺伝率が低いため、いずれのモデルも予測精度は低かったが、多形質モデルを利用することでわずかな精度向上が確認された。また単形質 ssGBLUP を応用することで、単形質 BLUP と比較して決定係数はわずかに増加した。この結果には、予測個体のうち SNP データを有する 415 頭の雌牛および予測個体の血縁(例えば、父牛)の信頼度の向上によって生じたと推察される。一方、多形質 ssGBLUP から得られた決定係数は、多形質 BLUP よりもやや低く、これは R^2 の推定結果と一致しなかった。異なる結果が得られた原因の一つとして、 R^2 の計算方法が影響している可能性がある。前述した通り、本分析では Misztal ら(2013)によって ssGBLUP の R^2 を計算したが、過大推定を抑えるための調整が必要であった。それゆえ、ssGBLUP の信頼度を得るための適切な計算方法および代替法の検討が今後の課題になると考えられる。Liu ら(2017)はマーカー行列に基づいて R^2 を得る方法を提案しているが、彼らの方法は検討価値があるかもしれない。

表 13-5. 各モデルによって得られた決定係数(%), 傾きおよび期待信頼度(%)

モデル	決定係数	傾き	期待信頼度
単形質 BLUP	1.4	0.88	18
単形質 ssGBLUP	1.6	0.85	20
多形質 BLUP	2.3	0.93	23
多形質 ssGBLUP	2.1	0.89	26

4. 結論

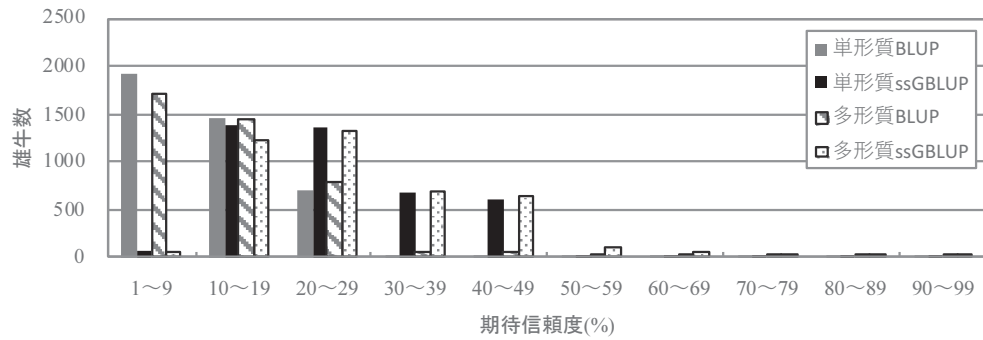
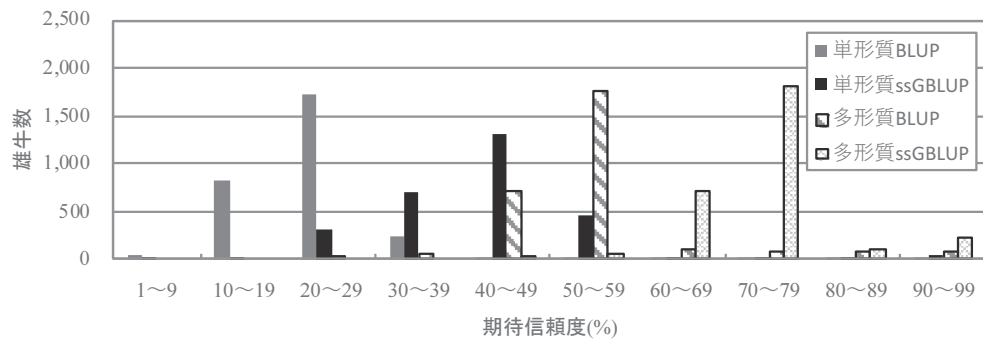
本分析では、体型審査形質間の遺伝共分散を考慮した多形質評価による歩様の遺伝評価の可能性を検討した。多形質評価を利用することによって、歩様の記録を有さない体型審査受検個体についても、ある程度の信頼度を有する遺伝評価値を得られることが明らかになった。したがって、歩様に関して多形質評価は有用な評価法と期待さ

れる。また、SNP データを活用することによって信頼度の向上に寄与する可能性が示唆されたが、その計算方法については更なる検討が必要である。

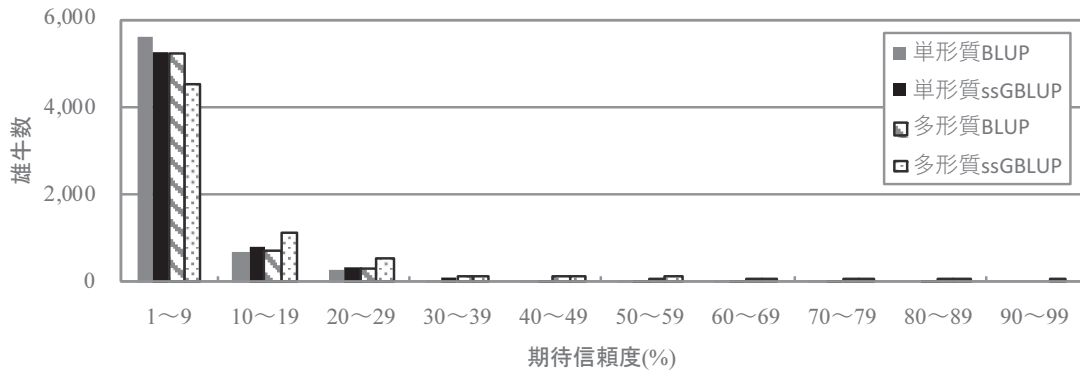
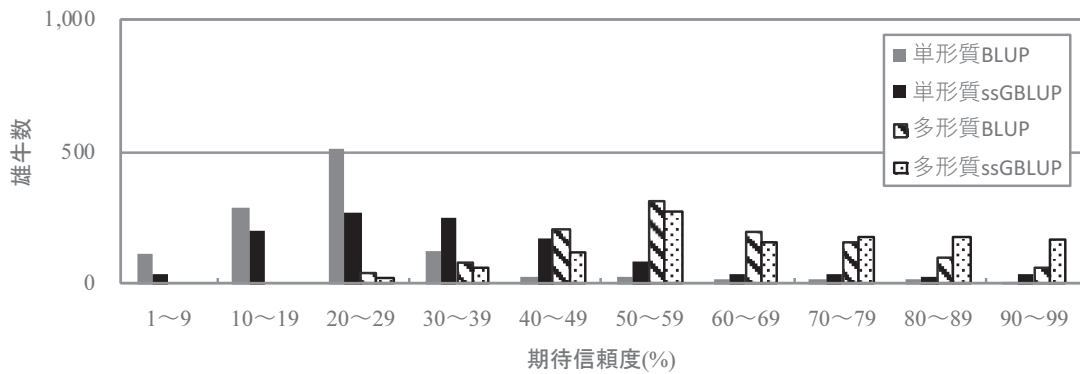
多形質 ssGBLUP を実用する上では、解の推定に要する収束回数の増加や SNP 情報を考慮するための計算量の増大が課題である。並列処理や APY 法(Misztal ら 2014)の実装が効率的な評価システムの開発に必要なになるだろう。

5. 参考文献

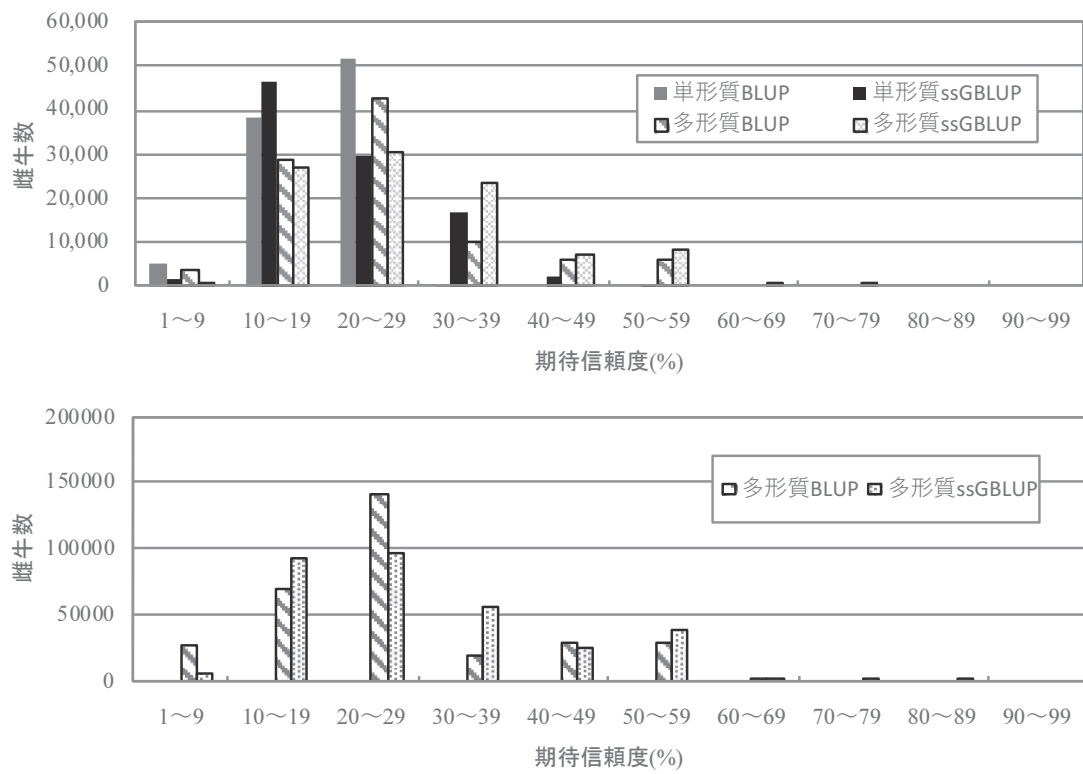
- 1) Aguilar I, Misztal I, Johnson DL, Legarra A, Tsuruta S, Lawlor TJ. 2010. Hot topic: A unified approach to utilize phenotypic, full pedigree, and genomic information for genetic evaluation of Holstein final score. *Journal of Dairy Science*. 93: 743-752.
- 2) Bauer J, Pribyl J, Vostry L. 2015. Short communication: Reliability of single-step genomic BLUP breeding values by multi-trait test-day model analysis. *Journal of Dairy Science*. 98:4999-5003.
- 3) 家畜改良センター. 2019. 乳用牛評価報告 第39号.
- 4) Liu Z, VanRaden PM, Lidauer MH, Calus MP, Benhajali H, Jorjani H, Ducrocq V. 2017. Approximating genetic reliabilities for national genomic evaluation. *Interbull Bulliten* 51:75-85.
- 5) Misztal I, Wiggans GR. 1988. Approximation of prediction error variance in large-scale animal models. *Journal of Dairy Science*. 71(Suppl. 2):27-32.
- 6) Misztal I, Tsuruta S, Aguilar I, Legarra A, VanRaden PM, Lawlor TJ. 2013. Methods to approximate reliabilities in single-step genomic evaluation. *Journal of Dairy Science*. 96:647-654.
- 7) Misztal I, Legarra A, Aguilar I. 2014. Using recursion to compute the inverse of the genomic relationship matrix. *Journal of Dairy Science*. 97:3943-3952.
- 8) Strabel T, Misztal I, Bertland JK. 2001. Approximation of reliabilities for multiple-trait model with maternal effects. *Journal of Animal Science*. 79:833-839.
- 9) Tsuruta S, Misztal I, Strandén I. 2001. Use of the preconditioned conjugate gradient algorithm as a generic solver for mixed-model equations in animal breeding applications. *Journal of Animal Science*. 79:1166-1172.
- 10) VanRaden PM. 2008. Efficient methods to compute genomic predictions. *Journal of Dairy Science*. 91:4414-4423.
- 11) VanRaden PM, O'Connell JR, Wiggans GR, Weigel KA. 2010. Genomic evaluations with many more genotypes. *Genetics Selection Evolution*. 43:10.



附図 13-1. SNP 情報を有する国内種雄牛(上：歩様記録を有する娘牛を持つ; 下：歩様記録を娘牛なし)の期待信頼度(%)



附図 13-2. 海外種雄牛(上：歩様記録を有する娘牛を持つ; 下：歩様記録を娘牛なし)の期待信頼度(%)



附図 13-3. 体型審査雌牛(上：歩様記録を有する; 下：歩様記録なし)の期待信頼度(%)

第14章 生産寿命の延長が期待できる肢蹄指数の開発

1. はじめに

第4章における生存時間解析による分析において、肢蹄に関する形質は、生産寿命との関連が小さいことが判明したが、繁殖との関連が注目されている。特に、歩様は他の肢蹄形質と比較して長命性や繁殖形質との関連が顕著であり、世界ホルスタイン・フリージアン連盟では歩様を国際標準形質として位置づけている。歩様の審査はフリーストールやフリーバーン等の放し飼い牛舎でないと審査が難しいことから、すべての雌牛が歩様の記録を持つことができず、そのためにすべての雌牛が歩様の育種価を推定できるとは限らない。

第13章ではSNP情報ならびに他の肢蹄形質との遺伝相関を利用し、多形質によるゲノミック評価法により歩様の記録を持たない雌牛でも間接的に歩様の育種価を推定する方法を開発した。さらに、生存時間解析では、繋ぎ飼い集団と放し飼い集団において、肢蹄形質のスコアに対する淘汰のリスク比に若干の差異が認められることも判明した。これらの分析結果に基づき、本章の目的は肢蹄形質の選抜により効率よく生産寿命および長命連産性を改良できる肢蹄指数を開発することである。また、繋ぎ飼い集団と放し飼い集団において、肢蹄形質と生産寿命との遺伝的関係が若干異なることから、これらの両集団に適した肢蹄指数を開発した。

2. 材料と方法

肢蹄指数は繋ぎ飼いと放し飼いの2集団のそれぞれで作成した。後肢側望、後肢後望、蹄の角度および歩様に対する重み付けは、第12章において推定した形質間の遺伝分散共分散行列を使用して主成分分析を行い、各成分の固有値と固有ベクトルに基づき算出した。また、繋ぎ飼い集団には歩様の審査記録を持つ雌牛が存在しないため、後肢側望、後肢後望および蹄の角度の3形質間での遺伝分散共分散しか推定されない。それゆえ、繋ぎ飼い集団に適合した肢蹄指数は、放し飼い集団から推定された歩様の遺伝分散共分散を繋ぎ飼い集団の遺伝分散共分散に組み込むことで、歩様を考慮した。

3. 結果と考察

(1) 線形成分の重み付け

表14-1から表14-3には、主成分分析によって推定されたそれぞれ繋ぎ飼い集団、放し飼い集団および歩様の分散共分散を加えた繋ぎ飼い集団の各々後肢側望、後肢後望、蹄の角度および歩様の固有値と固有ベクトルを示した。第1主成分の寄与率は繋ぎ飼い集団において59%、放し飼い集団において57%、歩様を追加した繋ぎ飼い集団において53%あり、それゆえに肢蹄に関する重みは第1主成分の固有ベクトルの割合とし

た。繋ぎ飼い集団における後肢側望、後肢後望および蹄の角度の重みはそれぞれ0.48、0.30 および 0.22、放し飼い集団の場合は歩様が加わりそれぞれ0.38、0.32、0.10 および 0.20、歩様を追加した繋ぎ飼い集団はそれぞれ0.38、0.28、0.17 および 0.17 とした。後肢側望の重みは繋ぎ飼い集団において0.48 であったが、歩様を考慮すると後肢側望の重みは両集団で同じ0.38 になった。ここで、肢蹄の線形形質に重み付けした各指数を線形形質成分と呼ぶことにする。

表14-1. 繋ぎ飼い集団における固有値および固有ベクトル

成分	固有値	寄与率	形質		
			後肢側望	後肢後望	蹄の角度
1	0.201	59%	-0.486	0.301	0.228
2	0.131	38%	-0.502	-0.529	0.047
3	0.010	3%	0.527	-0.684	0.504
合計	0.342	100%			
第1主成分における固有ベクトルの割合			-48%	30%	22%

表14-2. 放し飼い集団における固有値および固有ベクトル

成分	固有値	寄与率	形質			
			後肢側望	後肢後望	蹄の角度	歩様
1	0.221	57%	-0.581	0.493	0.150	0.298
2	0.094	24%	0.475	-0.581	-0.202	0.673
3	0.056	14%	0.045	-0.216	0.258	0.467
4	0.017	4%	0.521	0.321	-0.697	0.374
合計	0.388	100%				
第1主成分における固有ベクトルの割合			-38%	32%	10%	20%

表14-3. 繋ぎ飼い集団における歩様を考慮した固有値および固有ベクトル

成分	固有値	寄与率	形質			
			後肢側望	後肢後望	蹄の角度	歩様
1	0.188	53%	-0.528	0.379	0.231	0.239
2	0.089	25%	0.456	0.603	0.637	0.152
3	0.059	17%	0.382	-0.779	0.390	0.308
4	0.022	6%	0.558	0.143	-0.652	0.493
合計	0.357	100%				
第1主成分における固有ベクトルの割合			-38%	28%	17%	17%

(2) 肢蹄の得率と線形成分の重み付け

肢蹄に関する線形形質の重み付けを固有ベクトルの割合により設定し線形成分と

した。後肢側望は第4章の分析から低いスコアにおいて若干淘汰のリスク比が低下したことからマイナスの重み付けとし、肢蹄と線形成分の重みを1対99から99対1まで重みの割合を移動させながら各形質の最適な遺伝改良量を調査した。成牛選抜と若齢選抜で仮定した選抜の4経路における選抜強度、選抜の正確度および世代間隔は第11章で示した表11-3を使用した。

表14-4から表14-11には、成牛選抜下と若齢選抜下の繋ぎ飼いや集団に関して肢蹄と線形成分の重みを51対49から59対41の割合まで移動した場合のTPL、THL、FPLあるいはFHLと繁殖性の年当たり遺伝改良量の変化を示した。これらの重み付けの範囲において48ヵ月以上の生産寿命に関係する形質、肢蹄、決定得点、後肢後望、蹄の角度および歩様は成牛選抜下と若齢選抜下のどちらにおいても+0.01以上の正の改良量を示した。一方、後肢側望は負の改良量を示した。FPL36は成牛選抜した場合において54対46と55対45の間、若齢選抜した場合において55対45と56対44の間で負から0の改良量に転じた。空胎日数は0から-0.02の範囲、受胎率は0であった。繋ぎ飼いや集団では肢蹄と線形成分の割合を56対44にした場合、肢蹄の改良を維持しつつ、長命性の改良量を維持できる可能性を示唆した。ゲノミック評価値を利用した若齢選抜では成牛選抜と比較して約2倍の改良量を示し、Schaeffer(2006)のシミュレーションと一致した。

表14-12から表14-19には成牛選抜下と若齢選抜下の放し飼いや集団に関して肢蹄と線形成分の重みを41対49から49対51の割合まで移動した場合の生産寿命と繁殖性に関係する形質の年当たり遺伝改良量の変化を示した。48ヵ月以上の生産寿命に関係する形質、肢蹄、決定得点、後肢後望、蹄の角度および歩様は成牛選抜下と若齢選抜下のどちらにおいても+0.01以上の正の改良量を示した。一方、後肢側望は負の改良量を示した。FPL36は成牛選抜下と若齢選抜下のどちらにおいても44対56と45対55の間で負から0の改良量に転じた。空胎日数は0から-0.02の範囲、受胎率は0であった。放し飼いや集団では肢蹄と線形成分の割合を45対55にした場合、肢蹄の改良を維持しつつ、長命性の改良量を維持できる可能性を示唆した。

表14-20から表14-27には成牛選抜下と若齢選抜下の歩様を考慮した繋ぎ飼いや集団に関して肢蹄と線形成分の重みを46対54から54対46の割合まで移動した場合の生産寿命と繁殖性に関係する形質の年当たり遺伝改良量の変化を示した。48ヵ月以上の生産寿命に関係する形質、肢蹄、決定得点、後肢後望、蹄の角度および歩様は成牛選抜下と若齢選抜下のどちらにおいても+0.01以上の正の改良量を示した。一方、後肢側望は負の改良量を示した。FPL36は成牛選抜下と若齢選抜下のどちらにおいても48対52と49対51の間で負から0の改良量に転じた。空胎日数は0から-0.02の範囲、受胎率は0であった。歩様を考慮した繋ぎ飼いや集団では肢蹄と線形成分の割合を49対51にした場合、肢蹄の改良を維持しつつ、長命性の改良量を維持できる可能性を示唆した。

表14-4. 成牛選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のTPLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	51:49	52:48	53:47	54:46	55:45	56:44	57:43	58:42	59:41
TPL36	.001	.001	.001	.001	.001	.002	.002	.002	.002
TPL48	.005	.005	.005	.005	.005	.006	.006	.006	.006
TPL60	.020	.020	.021	.021	.021	.022	.022	.022	.022
TPL72	.072	.073	.074	.074	.075	.076	.076	.077	.078
TPL84	.170	.171	.173	.174	.176	.177	.179	.180	.181
肢蹄	.057	.057	.058	.058	.058	.059	.059	.059	.060
決定得点	.053	.053	.053	.054	.054	.054	.055	.055	.055
後肢側望	-.022	-.022	-.022	-.021	-.021	-.021	-.020	-.020	-.020
後肢後望	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010
蹄の角度	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004
歩様	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-5. 成牛選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のFPLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	51:49	52:48	53:47	54:46	55:45	56:44	57:43	58:42	59:41
FPL36	-.001	-.001	-.001	-.001	.000	.000	.000	.000	.000
FPL48	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
FPL60	.017	.017	.017	.017	.017	.018	.018	.018	.018
FPL72	.070	.071	.072	.072	.073	.074	.074	.075	.076
FPL84	.167	.169	.170	.172	.173	.174	.176	.177	.178
肢蹄	.059	.059	.060	.060	.060	.061	.061	.061	.062
決定得点	.055	.055	.055	.056	.056	.056	.056	.057	.057
後肢側望	-.023	-.023	-.023	-.022	-.022	-.022	-.021	-.021	-.021
後肢後望	.011	.011	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010
蹄の角度	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004
歩様	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.009	.009
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-6. 成牛選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のTHLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	51:49	52:48	53:47	54:46	55:45	56:44	57:43	58:42	59:41
THL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
THL48	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
THL60	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.019	.019	.019
THL72	.086	.087	.088	.088	.089	.090	.091	.091	.092
THL84	.228	.230	.232	.233	.235	.237	.239	.240	.242
肢蹄	.050	.051	.051	.051	.052	.052	.052	.053	.053
決定得点	.047	.048	.048	.048	.048	.049	.049	.049	.050
後肢側望	-.020	-.019	-.019	-.019	-.019	-.018	-.018	-.018	-.018
後肢後望	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009
蹄の角度	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003
歩様	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-7. 成牛選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のFHLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	51:49	52:48	53:47	54:46	55:45	56:44	57:43	58:42	59:41
FHL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FHL48	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
FHL60	.016	.016	.016	.016	.017	.017	.017	.017	.017
FHL72	.083	.084	.085	.085	.086	.087	.087	.088	.089
FHL84	.220	.222	.223	.225	.227	.228	.230	.232	.233
肢蹄	.052	.052	.053	.053	.053	.054	.054	.055	.055
決定得点	.051	.051	.051	.051	.052	.052	.052	.053	.053
後肢側望	-.021	-.020	-.020	-.020	-.019	-.019	-.019	-.019	-.018
後肢後望	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009
蹄の角度	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004
歩様	.007	.007	.007	.007	.008	.008	.008	.008	.008
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-8. 若齢選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のTPLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	51:49	52:48	53:47	54:46	55:45	56:44	57:43	58:42	59:41
TPL36	.002	.002	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003
TPL48	.010	.010	.010	.010	.010	.011	.011	.011	.011
TPL60	.039	.039	.040	.040	.041	.041	.042	.042	.043
TPL72	.138	.140	.141	.142	.144	.145	.147	.148	.150
TPL84	.325	.328	.331	.334	.337	.340	.343	.345	.348
肢蹄	.109	.110	.110	.111	.112	.112	.113	.114	.115
決定得点	.101	.102	.102	.103	.104	.104	.105	.105	.106
後肢側望	-.043	-.042	-.042	-.041	-.040	-.040	-.039	-.038	-.038
後肢後望	.020	.020	.019	.019	.019	.019	.019	.019	.019
蹄の角度	.008	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007
歩様	.015	.015	.015	.015	.015	.015	.015	.015	.015
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-9. 若齢選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のFPLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	51:49	52:48	53:47	54:46	55:45	56:44	57:43	58:42	59:41
FPL36	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	.000	.000	.000	.000
FPL48	.003	.003	.003	.004	.004	.004	.004	.004	.004
FPL60	.032	.033	.033	.034	.034	.034	.035	.035	.036
FPL72	.137	.139	.140	.141	.142	.144	.145	.146	.147
FPL84	.327	.329	.332	.335	.337	.340	.342	.345	.347
肢蹄	.115	.115	.116	.117	.118	.118	.119	.120	.120
決定得点	.107	.107	.108	.108	.109	.109	.110	.110	.111
後肢側望	-.046	-.045	-.044	-.044	-.043	-.042	-.042	-.041	-.041
後肢後望	.021	.021	.020	.020	.020	.020	.020	.020	.020
蹄の角度	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008
歩様	.016	.016	.016	.016	.016	.016	.017	.017	.017
空胎日数	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-10. 若齢選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のTHLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	51:49	52:48	53:47	54:46	55:45	56:44	57:43	58:42	59:41
THL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
THL48	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
THL60	.036	.036	.037	.037	.037	.037	.037	.038	.038
THL72	.177	.178	.179	.180	.181	.182	.183	.184	.185
THL84	.468	.470	.473	.476	.478	.481	.483	.486	.488
肢蹄	.103	.103	.104	.105	.105	.106	.106	.107	.107
決定得点	.097	.097	.098	.098	.099	.099	.099	.100	.100
後肢側望	-.040	-.040	-.039	-.038	-.038	-.037	-.037	-.036	-.035
後肢後望	.019	.019	.019	.019	.018	.018	.018	.018	.018
蹄の角度	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.006	.006
歩様	.014	.014	.014	.014	.014	.014	.014	.014	.014
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-11. 若齢選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のFHLと繁殖性の遺伝改良量(繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	51:49	52:48	53:47	54:46	55:45	56:44	57:43	58:42	59:41
FHL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FHL48	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
FHL60	.032	.033	.033	.033	.033	.034	.034	.034	.035
FHL72	.169	.170	.171	.173	.174	.175	.176	.177	.178
FHL84	.446	.449	.452	.454	.457	.460	.462	.465	.468
肢蹄	.106	.106	.107	.107	.108	.108	.109	.110	.110
決定得点	.103	.103	.103	.104	.104	.105	.105	.106	.106
後肢側望	-.042	-.041	-.040	-.040	-.039	-.038	-.038	-.037	-.037
後肢後望	.019	.019	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018
蹄の角度	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.007	.007	.007
歩様	.015	.015	.015	.015	.015	.015	.015	.015	.015
空胎日数	-.002	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-12. 成牛選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のTPLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	41:59	42:58	43:57	44:56	45:55	46:54	47:53	48:52	49:51
TPL36	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
TPL48	.004	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005
TPL60	.018	.019	.019	.019	.019	.020	.020	.020	.020
TPL72	.067	.068	.068	.069	.070	.071	.071	.072	.073
TPL84	.159	.160	.162	.163	.165	.166	.168	.169	.170
肢蹄	.052	.052	.053	.053	.053	.054	.054	.055	.055
決定得点	.049	.050	.050	.050	.051	.051	.051	.051	.052
後肢側望	-.022	-.021	-.021	-.021	-.021	-.020	-.020	-.020	-.019
後肢後望	.011	.011	.011	.011	.011	.011	.011	.011	.011
蹄の角度	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003
歩様	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.009	.009
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-13. 成牛選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のFPLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	41:59	42:58	43:57	44:56	45:55	46:54	47:53	48:52	49:51
FPL36	-.001	-.001	-.001	-.001	.000	.000	.000	.000	.000
FPL48	.001	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
FPL60	.015	.016	.016	.016	.016	.016	.017	.017	.017
FPL72	.066	.067	.067	.068	.069	.069	.070	.070	.071
FPL84	.157	.158	.160	.161	.163	.164	.165	.167	.168
肢蹄	.053	.054	.054	.055	.055	.056	.056	.056	.057
決定得点	.051	.051	.052	.052	.052	.053	.053	.053	.053
後肢側望	-.023	-.022	-.022	-.022	-.021	-.021	-.021	-.021	-.020
後肢後望	.012	.012	.011	.011	.011	.011	.011	.011	.011
蹄の角度	.004	.004	.004	.004	.004	.003	.003	.003	.003
歩様	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-14. 成牛選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のTHLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	41:59	42:58	43:57	44:56	45:55	46:54	47:53	48:52	49:51
THL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
THL48	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
THL60	.016	.016	.017	.017	.017	.017	.017	.017	.018
THL72	.080	.081	.082	.083	.083	.084	.085	.085	.086
THL84	.213	.215	.217	.219	.220	.222	.224	.226	.227
肢蹄	.046	.046	.047	.047	.047	.048	.048	.049	.049
決定得点	.044	.044	.045	.045	.045	.046	.046	.046	.046
後肢側望	-.019	-.019	-.019	-.018	-.018	-.018	-.018	-.017	-.017
後肢後望	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010
蹄の角度	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003
歩様	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-15. 成牛選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のFHLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	41:59	42:58	43:57	44:56	45:55	46:54	47:53	48:52	49:51
FHL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FHL48	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
FHL60	.015	.015	.015	.015	.015	.016	.016	.016	.016
FHL72	.078	.079	.079	.080	.081	.081	.082	.083	.083
FHL84	.206	.208	.209	.211	.213	.215	.216	.218	.220
肢蹄	.047	.048	.048	.049	.049	.049	.050	.050	.051
決定得点	.047	.047	.048	.048	.048	.049	.049	.049	.050
後肢側望	-.020	-.020	-.019	-.019	-.019	-.019	-.018	-.018	-.018
後肢後望	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010
蹄の角度	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003
歩様	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-16. 若齢選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のTPLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	41:59	42:58	43:57	44:56	45:55	46:54	47:53	48:52	49:51
TPL36	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.003	.003
TPL48	.008	.009	.009	.009	.009	.009	.010	.010	.010
TPL60	.035	.035	.036	.037	.037	.038	.038	.039	.039
TPL72	.128	.129	.131	.132	.134	.135	.137	.138	.140
TPL84	.304	.307	.310	.313	.315	.318	.321	.324	.327
肢蹄	.099	.100	.101	.102	.102	.103	.104	.105	.106
決定得点	.094	.095	.096	.096	.097	.097	.098	.099	.099
後肢側望	-.042	-.041	-.040	-.040	-.039	-.039	-.038	-.038	-.037
後肢後望	.022	.022	.021	.021	.021	.021	.021	.021	.021
蹄の角度	.006	.006	.006	.006	.006	.006	.006	.006	.006
歩様	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-17. 若齢選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のFPLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	41:59	42:58	43:57	44:56	45:55	46:54	47:53	48:52	49:51
FPL36	-.001	-.001	-.001	-.001	.000	.000	.000	.000	.000
FPL48	.003	.003	.003	.003	.003	.004	.004	.004	.004
FPL60	.030	.030	.031	.031	.032	.032	.033	.033	.033
FPL72	.129	.130	.131	.133	.134	.135	.136	.137	.139
FPL84	.306	.309	.312	.314	.317	.320	.322	.325	.327
肢蹄	.104	.105	.106	.107	.107	.108	.109	.110	.111
決定得点	.099	.100	.101	.101	.102	.102	.103	.104	.104
後肢側望	-.044	-.044	-.043	-.042	-.042	-.041	-.041	-.040	-.040
後肢後望	.023	.023	.022	.022	.022	.022	.022	.022	.021
蹄の角度	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007
歩様	.020	.020	.020	.020	.020	.020	.020	.020	.020
空胎日数	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-18. 若齢選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のTHLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	41:59	42:58	43:57	44:56	45:55	46:54	47:53	48:52	49:51
THL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
THL48	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
THL60	.033	.034	.034	.034	.034	.035	.035	.035	.035
THL72	.165	.167	.168	.169	.170	.171	.172	.173	.175
THL84	.439	.441	.444	.447	.450	.453	.455	.458	.461
肢蹄	.094	.095	.095	.096	.097	.097	.098	.099	.099
決定得点	.090	.091	.091	.092	.092	.093	.093	.094	.094
後肢側望	-.039	-.039	-.038	-.038	-.037	-.036	-.036	-.035	-.035
後肢後望	.021	.021	.021	.020	.020	.020	.020	.020	.020
蹄の角度	.006	.006	.006	.006	.006	.006	.005	.005	.005
歩様	.017	.017	.017	.017	.017	.017	.017	.017	.017
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-19. 若齢選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のFHLと繁殖性の遺伝改良量(放し飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	41:59	42:58	43:57	44:56	45:55	46:54	47:53	48:52	49:51
FHL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FHL48	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
FHL60	.030	.030	.031	.031	.031	.032	.032	.032	.032
FHL72	.159	.160	.161	.162	.163	.164	.166	.167	.168
FHL84	.419	.422	.425	.428	.431	.433	.436	.439	.442
肢蹄	.096	.097	.098	.098	.099	.100	.100	.101	.102
決定得点	.096	.096	.097	.097	.098	.098	.099	.099	.100
後肢側望	-.040	-.040	-.039	-.039	-.038	-.038	-.037	-.037	-.036
後肢後望	.021	.020	.020	.020	.020	.020	.020	.019	.019
蹄の角度	.007	.007	.006	.006	.006	.006	.006	.006	.006
歩様	.019	.019	.019	.019	.019	.018	.018	.018	.018
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-20. 成牛選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のTPLと繁殖性の遺伝改良量(歩様を考慮した繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	46:54	47:53	48:52	49:51	50:50	51:49	52:48	53:47	54:46
TPL36	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.002	.002	.002
TPL48	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.006	.006
TPL60	.019	.019	.020	.020	.020	.021	.021	.021	.021
TPL72	.069	.070	.071	.071	.072	.073	.073	.074	.075
TPL84	.163	.165	.166	.168	.169	.170	.172	.173	.175
肢蹄	.053	.054	.054	.055	.055	.055	.056	.056	.057
決定得点	.050	.051	.051	.051	.051	.052	.052	.052	.053
後肢側望	-.020	-.020	-.020	-.020	-.019	-.019	-.019	-.019	-.018
後肢後望	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010
蹄の角度	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.003	.003	.003
歩様	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	.000	.000	.000	.000	.000
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-21. 成牛選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のFPLと繁殖性の遺伝改良量(歩様を考慮した繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	46:54	47:53	48:52	49:51	50:50	51:49	52:48	53:47	54:46
FPL36	-.001	-.001	-.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FPL48	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
FPL60	.016	.017	.017	.017	.017	.017	.018	.018	.018
FPL72	.069	.070	.070	.071	.072	.072	.073	.073	.074
FPL84	.164	.166	.167	.168	.170	.171	.172	.173	.175
肢蹄	.056	.056	.057	.057	.058	.058	.058	.059	.059
決定得点	.053	.053	.053	.054	.054	.054	.055	.055	.055
後肢側望	-.022	-.021	-.021	-.021	-.021	-.020	-.020	-.020	-.020
後肢後望	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010
蹄の角度	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004
歩様	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-22. 成牛選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のTHLと繁殖性の遺伝改良量(歩様を考慮した繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	46:54	47:53	48:52	49:51	50:50	51:49	52:48	53:47	54:46
THL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
THL48	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
THL60	.018	.018	.018	.018	.018	.019	.019	.019	.019
THL72	.088	.089	.089	.090	.090	.091	.091	.092	.093
THL84	.233	.234	.236	.237	.238	.240	.241	.243	.244
肢蹄	.050	.051	.051	.051	.052	.052	.052	.052	.053
決定得点	.048	.048	.048	.049	.049	.049	.049	.049	.050
後肢側望	-.019	-.019	-.019	-.018	-.018	-.018	-.018	-.017	-.017
後肢後望	.010	.010	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009
蹄の角度	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003
歩様	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-23. 成牛選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のFHLと繁殖性の遺伝改良量(歩様を考慮した繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	46:54	47:53	48:52	49:51	50:50	51:49	52:48	53:47	54:46
FHL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FHL48	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
FHL60	.016	.016	.016	.017	.017	.017	.017	.017	.017
FHL72	.085	.085	.086	.086	.087	.088	.088	.089	.089
FHL84	.223	.224	.226	.227	.229	.230	.232	.233	.234
肢蹄	.051	.052	.052	.052	.053	.053	.053	.054	.054
決定得点	.051	.051	.051	.051	.052	.052	.052	.052	.053
後肢側望	-.020	-.019	-.019	-.019	-.019	-.018	-.018	-.018	-.018
後肢後望	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009
蹄の角度	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004
歩様	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-24. 若齢選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のTPLと繁殖性の遺伝改良量(歩様を考慮した繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	46:54	47:53	48:52	49:51	50:50	51:49	52:48	53:47	54:46
TPL36	.002	.002	.002	.003	.003	.003	.003	.003	.003
TPL48	.009	.009	.010	.010	.010	.010	.011	.011	.011
TPL60	.037	.038	.038	.039	.039	.040	.040	.041	.041
TPL72	.134	.136	.137	.138	.140	.141	.143	.144	.145
TPL84	.316	.319	.322	.325	.328	.331	.334	.336	.339
肢蹄	.103	.104	.105	.106	.107	.107	.108	.109	.110
決定得点	.098	.098	.099	.099	.100	.100	.101	.102	.102
後肢側望	-.040	-.039	-.039	-.038	-.037	-.037	-.036	-.036	-.036
後肢後望	.019	.019	.019	.019	.019	.019	.019	.019	.019
蹄の角度	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007
歩様	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-25. 若齢選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のFPLと繁殖性の遺伝改良量(歩様を考慮した繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	46:54	47:53	48:52	49:51	50:50	51:49	52:48	53:47	54:46
FPL36	-.001	-.001	-.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FPL48	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004	.004
FPL60	.032	.033	.033	.033	.034	.034	.034	.035	.035
FPL72	.135	.136	.137	.139	.140	.141	.142	.143	.144
FPL84	.320	.322	.325	.327	.330	.333	.335	.338	.340
肢蹄	.108	.109	.110	.111	.111	.112	.113	.114	.115
決定得点	.102	.103	.104	.104	.105	.105	.106	.106	.107
後肢側望	-.041	-.041	-.040	-.040	-.039	-.039	-.038	-.038	-.037
後肢後望	.022	.022	.022	.021	.021	.021	.021	.021	.021
蹄の角度	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007
歩様	.020	.020	.020	.020	.020	.020	.020	.020	.020
空胎日数	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-26. 若齢選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のTHLと繁殖性の遺伝改良量(歩様を考慮した繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	46:54	47:53	48:52	49:51	50:50	51:49	52:48	53:47	54:46
THL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
THL48	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
THL60	.035	.035	.035	.035	.036	.036	.036	.036	.037
THL72	.171	.172	.173	.174	.175	.176	.177	.179	.180
THL84	.452	.454	.457	.460	.463	.465	.468	.471	.473
肢蹄	.097	.098	.099	.099	.100	.101	.101	.102	.102
決定得点	.093	.093	.094	.094	.095	.095	.095	.096	.096
後肢側望	-.037	-.037	-.036	-.036	-.035	-.035	-.034	-.034	-.033
後肢後望	.019	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018
蹄の角度	.007	.007	.006	.006	.006	.006	.006	.006	.006
歩様	.016	.016	.016	.016	.016	.016	.016	.016	.016
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表14-27. 若齢選抜した場合の肢蹄および線形成分の割合を変化させた場合のFHLと繁殖性の遺伝改良量(歩様を考慮した繋ぎ飼い集団)

形質	肢蹄：線形成分								
	46:54	47:53	48:52	49:51	50:50	51:49	52:48	53:47	54:46
FHL36	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
FHL48	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
FHL60	.031	.032	.032	.032	.033	.033	.033	.033	.034
FHL72	.164	.165	.166	.167	.169	.170	.171	.172	.173
FHL84	.433	.435	.438	.441	.444	.446	.449	.452	.455
肢蹄	.100	.100	.101	.102	.102	.103	.104	.104	.105
決定得点	.098	.099	.099	.100	.100	.101	.101	.102	.102
後肢側望	-.038	-.038	-.037	-.037	-.036	-.036	-.035	-.035	-.034
後肢後望	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.017	.017
蹄の角度	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007
歩様	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018	.018
空胎日数	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001	-.001
受胎率	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表 14-28 には、肢蹄指数に含まれる各形質の育種価に対する重み付けを示した。

(4) 種雄牛の序列

表 14-29 には、国内種雄牛 375 頭の集団における肢蹄指数と肢蹄と各形質の育種価との相関を示した。ここで、歩様の育種価は第 13 章において多形質 ssGBLUP から得られた育種価を使用した。

試作した各種の肢蹄指数は、肢蹄得率との間に 0.96 から 0.98、決定得点との間に 0.55 から 0.57、さらに後肢側望との間に -0.66 から -0.64 の相関があり、比較的差異が小さかった。放し飼いや繋ぎ飼いに適合する指数-2 と指数-4 は後肢後望との間に 0.55 と 0.66 の相関が得られ、繋ぎ飼いに適合する肢蹄指数との相関(0.50 から 0.52)と比較し、若干大きく推定された。蹄の角度は指数-1、指数-2 および指数-3 との間に 0.55 から 0.58 の相関が推定され、スコア 5 に相当する育種価で修正した指数-2、指数-4 および指数-6 と比較し、正の相関が若干高くなった。指数-1 と指数-2 には歩様の重みが含まれていないので、歩様との相関が他の指数と比較して若干低くなった。

表 14-30 から表 14-35 には、2019-8 月評価における国内種雄牛 375 頭を使用した場合の肢蹄指数上位および下位 20 頭における種雄牛の序列と平均値を示した。上位 20 頭における肢蹄得率および決定得点の平均育種価はプラス、一方、下位 20 頭の平均育種価はマイナスであり得点形質の改良が期待できると推察された。飼養形態による大きな差異は認められなかった。

後肢後望、蹄の角度および歩様における上位 20 頭の平均育種価は正值、一方、後肢側望は負値を示した。本分析で開発した肢蹄指数は、肢蹄および決定得点を改良しつつ、肢蹄の各部位を効率よく改良できる種雄牛を選抜できることが明らかになった。

表 14-29. 肢蹄指数と各形質の育種価との相関(国内種雄牛 375 頭)

肢蹄指数	肢蹄得率	決定得点	後肢側望	後肢後望	蹄の角度	歩様
指数-1	+0.98	+0.57	-0.66	+0.50	+0.58	+0.48
指数-2	+0.98	+0.56	-0.66	+0.51	+0.52	+0.49
指数-3	+0.97	+0.55	-0.66	+0.55	+0.55	+0.52
指数-4	+0.96	+0.55	-0.66	+0.56	+0.52	+0.53
指数-5	+0.98	+0.57	-0.64	+0.51	+0.57	+0.51
指数-6	+0.98	+0.56	-0.64	+0.52	+0.52	+0.52

表14-30. 2019-8月評価における国内種雄牛375頭を使用した場合の繋ぎ飼い集団における肢蹄指数(指数-1)で序列した上位および下位20頭

種雄牛	肢蹄指数	総合指数	長命連産効果(円)	肢蹄得率	決定得点	後肢側望	後肢後望	蹄の角度	歩様
上位									
1	+1.05	+1,024	+9,748	+1.47	+0.58	-3.34	+2.22	+2.38	+3.04
2	+0.86	-157	+1,599	+1.18	+1.25	-1.99	+3.57	+1.78	+3.01
3	+0.82	+590	+11,363	+1.38	+1.17	+0.38	+1.38	+2.56	+1.76
	+0.82	-352	-5,929	+1.10	+1.12	-3.04	+1.99	+1.41	+1.53
5	+0.81	+1,873	+52,463	+1.08	+0.93	-3.12	+1.54	+2.81	+1.88
6	+0.78	+2,089	+119,958	+1.10	+0.95	-1.56	+2.71	+2.46	+1.30
7	+0.77	+1,453	+31,200	+1.22	+1.69	-1.14	+0.94	+0.63	+2.19
	+0.77	+2,729	+79,556	+1.18	+1.47	-0.30	+2.92	+2.11	+0.97
9	+0.76	+1,689	+64,619	+1.07	+0.77	-2.30	+1.71	+1.25	+1.60
10	+0.75	-209	-55,393	+1.20	+0.41	-0.90	-0.04	+3.94	+1.60
11	+0.74	+772	+33,266	+1.06	+0.46	-1.06	+2.35	+3.40	+3.02
12	+0.72	+535	-2,598	+0.94	+0.63	-3.09	+1.05	+2.73	+0.47
13	+0.71	+749	+15,451	+1.03	+1.01	-0.91	+3.16	+0.37	+3.47
	+0.71	+2,336	+47,402	+1.14	+0.85	-0.58	+0.35	+3.50	+1.69
	+0.71	+2,628	+79,970	+1.19	+0.85	+0.60	+2.39	+0.36	+0.74
16	+0.70	+2,066	+80,096	+1.02	+1.26	-2.62	+0.05	+1.47	+1.14
17	+0.68	+854	+74,960	+0.95	+1.12	-2.48	+1.04	+1.04	+0.25
18	+0.66	+1,801	+77,222	+0.90	+1.21	-2.04	+1.62	+2.60	+0.50
	+0.66	+1,839	+71,351	+0.99	+1.01	-0.50	+2.14	+2.84	+0.19
20	+0.64	+1,893	+53,715	+0.97	+1.40	-1.29	+0.44	+2.64	+1.19
	+0.64	+1,514	+31,900	+0.89	+1.36	-2.54	+0.85	+0.16	+1.88
	+0.64	+649	+9,806	+0.98	+1.09	-0.45	+1.67	+2.31	-0.03
平均値	+0.75	+1,289	+40,078	+1.09	+1.03	-1.56	+1.64	+2.03	+1.52
下位									
356	-0.41	+345	+5,881	-0.55	-0.29	+1.08	-0.69	-3.84	-0.14
357	-0.42	+1,891	+23,118	-0.49	-0.01	+2.26	-1.08	-1.56	-0.40
	-0.42	+2,385	+110,948	-0.64	+0.02	-0.16	-2.20	-0.81	-0.27
359	-0.43	+222	+17,975	-0.61	+0.18	+2.17	+0.32	-0.42	-1.05
	-0.43	+1,858	+14,518	-0.51	+0.03	+0.31	-3.94	-2.92	-0.95
361	-0.46	+2,514	+45,259	-0.38	-0.05	+4.97	+0.14	-2.69	-0.93
	-0.46	+2,039	+102,302	-0.53	+0.62	+3.39	-0.12	-1.18	-0.64
363	-0.49	+586	+4,683	-0.69	-0.33	+1.65	+0.13	-3.19	+0.81
364	-0.50	+1,089	+37,272	-0.70	-0.35	+1.00	-1.99	-0.74	-0.45
365	-0.51	+1,797	+74,618	-0.46	-0.62	+3.52	-3.64	-0.25	+1.18
	-0.51	+1,714	+69,436	-0.61	+0.23	+1.89	-3.08	+0.07	+0.46
367	-0.53	+155	+48,239	-0.58	+0.06	+2.11	-3.78	-1.54	-0.95
368	-0.54	+2,046	+40,141	-0.81	-0.49	+1.71	+0.80	-3.43	-0.98
369	-0.59	+41	+60,870	-0.88	+0.33	+3.22	+1.47	+1.33	-0.06
370	-0.60	+1,606	+61,000	-0.77	+0.12	+2.15	-1.68	-2.87	-1.94
371	-0.61	+101	-4,301	-0.81	+0.18	+1.99	-2.12	-1.49	-0.71
372	-0.62	+1,209	+39,921	-0.86	-0.29	+1.99	-1.10	-2.39	-0.35
373	-0.64	+1,718	+49,668	-0.82	-0.35	+3.36	-0.33	-1.92	-1.23
374	-0.69	+605	-25,781	-0.90	-0.68	+3.18	-0.62	-2.51	-0.47
375	-0.78	+919	+24,714	-1.04	+0.05	+3.12	-1.60	-1.49	-2.45
平均値	-0.53	+1,242	+40,024	-0.68	-0.08	+2.25	-1.26	-1.69	-0.58

表14-31. 2019-8月評価における国内種雄牛375頭を使用した場合の繋ぎ飼い集団における肢蹄指数(指数-2)で序列した上位および下位20頭

種雄牛	肢蹄 指数	総合 指数	長命連産 効果(円)	肢蹄 得率	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	歩様
上位									
1	+1.04	+1,024	+9,748	+1.47	+0.58	-3.34	+2.22	+2.38	+3.04
2	+0.85	-157	+1,599	+1.18	+1.25	-1.99	+3.57	+1.78	+3.01
3	+0.81	-352	-5,929	+1.10	+1.12	-3.04	+1.99	+1.41	+1.53
4	+0.80	+590	+11,363	+1.38	+1.17	+0.38	+1.38	+2.56	+1.76
5	+0.79	+1,873	+52,463	+1.08	+0.93	-3.12	+1.54	+2.81	+1.88
6	+0.77	+1,453	+31,200	+1.22	+1.69	-1.14	+0.94	+0.63	+2.19
7	+0.76	+1,689	+64,619	+1.07	+0.77	-2.30	+1.71	+1.25	+1.60
	+0.76	+2,089	+119,958	+1.10	+0.95	-1.56	+2.71	+2.46	+1.30
9	+0.75	+2,729	+79,556	+1.18	+1.47	-0.30	+2.92	+2.11	+0.97
10	+0.73	-209	-55,393	+1.20	+0.41	-0.90	-0.04	+3.94	+1.60
11	+0.72	+749	+15,451	+1.03	+1.01	-0.91	+3.16	+0.37	+3.47
	+0.72	+772	+33,266	+1.06	+0.46	-1.06	+2.35	+3.40	+3.02
	+0.72	+2,628	+79,970	+1.19	+0.85	+0.60	+2.39	+0.36	+0.74
14	+0.70	+535	-2,598	+0.94	+0.63	-3.09	+1.05	+2.73	+0.47
	+0.70	+2,066	+80,096	+1.02	+1.26	-2.62	+0.05	+1.47	+1.14
16	+0.69	+2,336	+47,402	+1.14	+0.85	-0.58	+0.35	+3.50	+1.69
17	+0.68	+854	+74,960	+0.95	+1.12	-2.48	+1.04	+1.04	+0.25
18	+0.65	+1,514	+31,900	+0.89	+1.36	-2.54	+0.85	+0.16	+1.88
19	+0.64	+1,801	+77,222	+0.90	+1.21	-2.04	+1.62	+2.60	+0.50
	+0.64	+1,839	+71,351	+0.99	+1.01	-0.50	+2.14	+2.84	+0.19
平均値	+0.75	+1,291	+40,910	+1.10	+1.01	-1.63	+1.70	+1.99	+1.61
下位									
355	-0.35	+980	+26,070	-0.59	-0.12	+0.35	-1.45	-1.80	-1.52
	-0.35	+1,449	+63,646	-0.57	-0.07	+0.48	-0.94	-0.01	-1.20
357	-0.36	+1,858	+14,518	-0.51	+0.03	+0.31	-3.94	-2.92	-0.95
358	-0.37	+1,891	+23,118	-0.49	-0.01	+2.26	-1.08	-1.56	-0.40
359	-0.38	+2,385	+110,948	-0.64	+0.02	-0.16	-2.20	-0.81	-0.27
360	-0.39	+2,514	+45,259	-0.38	-0.05	+4.97	+0.14	-2.69	-0.93
361	-0.41	+586	+4,683	-0.69	-0.33	+1.65	+0.13	-3.19	+0.81
	-0.41	+222	+17,975	-0.61	+0.18	+2.17	+0.32	-0.42	-1.05
363	-0.42	+2,039	+102,302	-0.53	+0.62	+3.39	-0.12	-1.18	-0.64
364	-0.46	+1,089	+37,272	-0.70	-0.35	+1.00	-1.99	-0.74	-0.45
	-0.46	+2,046	+40,141	-0.81	-0.49	+1.71	+0.80	-3.43	-0.98
366	-0.49	+1,797	+74,618	-0.46	-0.62	+3.52	-3.64	-0.25	+1.18
	-0.49	+1,714	+69,436	-0.61	+0.23	+1.89	-3.08	+0.07	+0.46
	-0.49	+155	+48,239	-0.58	+0.06	+2.11	-3.78	-1.54	-0.95
369	-0.53	+1,606	+61,000	-0.77	+0.12	+2.15	-1.68	-2.87	-1.94
370	-0.56	+1,209	+39,921	-0.86	-0.29	+1.99	-1.10	-2.39	-0.35
371	-0.57	+101	-4,301	-0.81	+0.18	+1.99	-2.12	-1.49	-0.71
372	-0.58	+1,718	+49,668	-0.82	-0.35	+3.36	-0.33	-1.92	-1.23
373	-0.59	+41	+60,870	-0.88	+0.33	+3.22	+1.47	+1.33	-0.06
374	-0.62	+605	-25,781	-0.90	-0.68	+3.18	-0.62	-2.51	-0.47
375	-0.73	+919	+24,714	-1.04	+0.05	+3.12	-1.60	-1.49	-2.45
平均値	-0.48	+1,282	+42,110	-0.68	-0.07	+2.13	-1.28	-1.51	-0.67

表14-32. 2019-8月評価における国内種雄牛375頭を使用した場合の放し飼い集団における肢蹄指数(指数-3)で序列した上位および下位20頭

種雄牛	肢蹄 指数	総合 指数	長命連産 効果(円)	肢蹄 得率	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	歩様
上位									
1	+0.94	+1,024	+9,748	+1.47	+0.58	-3.34	+2.22	+2.38	+3.04
2	+0.80	-157	+1,599	+1.18	+1.25	-1.99	+3.57	+1.78	+3.01
3	+0.73	-352	-5,929	+1.10	+1.12	-3.04	+1.99	+1.41	+1.53
4	+0.72	+1,873	+52,463	+1.08	+0.93	-3.12	+1.54	+2.81	+1.88
5	+0.69	+590	+11,363	+1.38	+1.17	+0.38	+1.38	+2.56	+1.76
	+0.69	+2,089	+119,958	+1.10	+0.95	-1.56	+2.71	+2.46	+1.30
7	+0.67	+749	+15,451	+1.03	+1.01	-0.91	+3.16	+0.37	+3.47
	+0.67	+772	+33,266	+1.06	+0.46	-1.06	+2.35	+3.40	+3.02
	+0.67	+1,453	+31,200	+1.22	+1.69	-1.14	+0.94	+0.63	+2.19
	+0.67	+1,689	+64,619	+1.07	+0.77	-2.30	+1.71	+1.25	+1.60
	+0.67	+2,729	+79,556	+1.18	+1.47	-0.30	+2.92	+2.11	+0.97
12	+0.62	-209	-55,393	+1.20	+0.41	-0.90	-0.04	+3.94	+1.60
	+0.62	+535	-2,598	+0.94	+0.63	-3.09	+1.05	+2.73	+0.47
14	+0.60	+2,066	+80,096	+1.02	+1.26	-2.62	+0.05	+1.47	+1.14
	+0.60	+2,628	+79,970	+1.19	+0.85	+0.60	+2.39	+0.36	+0.74
16	+0.59	+2,336	+47,402	+1.14	+0.85	-0.58	+0.35	+3.50	+1.69
17	+0.58	+854	+74,960	+0.95	+1.12	-2.48	+1.04	+1.04	+0.25
18	+0.57	+1,514	+31,900	+0.89	+1.36	-2.54	+0.85	+0.16	+1.88
	+0.57	+1,801	+77,222	+0.90	+1.21	-2.04	+1.62	+2.60	+0.50
20	+0.56	+1,839	+71,351	+0.99	+1.01	-0.50	+2.14	+2.84	+0.19
平均値	+0.66	+1,291	+40,910	+1.10	+1.01	-1.63	+1.70	+1.99	+1.61
下位									
356	-0.37	+980	+26,070	-0.59	-0.12	+0.35	-1.45	-1.80	-1.52
	-0.37	+2,385	+110,948	-0.64	+0.02	-0.16	-2.20	-0.81	-0.27
358	-0.38	+222	+17,975	-0.61	+0.18	+2.17	+0.32	-0.42	-1.05
	-0.38	+1,891	+23,118	-0.49	-0.01	+2.26	-1.08	-1.56	-0.40
360	-0.39	+586	+4,683	-0.69	-0.33	+1.65	+0.13	-3.19	+0.81
361	-0.41	+2,039	+102,302	-0.53	+0.62	+3.39	-0.12	-1.18	-0.64
	-0.41	+1,858	+14,518	-0.51	+0.03	+0.31	-3.94	-2.92	-0.95
363	-0.42	+2,514	+45,259	-0.38	-0.05	+4.97	+0.14	-2.69	-0.93
364	-0.44	+1,089	+37,272	-0.70	-0.35	+1.00	-1.99	-0.74	-0.45
365	-0.45	+2,046	+40,141	-0.81	-0.49	+1.71	+0.80	-3.43	-0.98
366	-0.46	+1,714	+69,436	-0.61	+0.23	+1.89	-3.08	+0.07	+0.46
367	-0.48	+41	+60,870	-0.88	+0.33	+3.22	+1.47	+1.33	-0.06
	-0.48	+1,797	+74,618	-0.46	-0.62	+3.52	-3.64	-0.25	+1.18
369	-0.51	+155	+48,239	-0.58	+0.06	+2.11	-3.78	-1.54	-0.95
370	-0.53	+1,209	+39,921	-0.86	-0.29	+1.99	-1.10	-2.39	-0.35
371	-0.55	+101	-4,301	-0.81	+0.18	+1.99	-2.12	-1.49	-0.71
	-0.55	+1,606	+61,000	-0.77	+0.12	+2.15	-1.68	-2.87	-1.94
373	-0.56	+1,718	+49,668	-0.82	-0.35	+3.36	-0.33	-1.92	-1.23
374	-0.59	+605	-25,781	-0.90	-0.68	+3.18	-0.62	-2.51	-0.47
375	-0.71	+919	+24,714	-1.04	+0.05	+3.12	-1.60	-1.49	-2.45
平均値	-0.47	+1,274	+41,034	-0.68	-0.07	+2.21	-1.29	-1.59	-0.65

表14-33. 2019-8月評価における国内種雄牛375頭を使用した場合の放し飼い集団における肢蹄指数(指数-4)で序列した上位および下位20頭

種雄牛	肢蹄指数	総合指数	長命連産効果(円)	肢蹄得率	決定得点	後肢側望	後肢後望	蹄の角度	歩様
上位									
1	+0.93	+1,024	+9,748	+1.47	+0.58	-3.34	+2.22	+2.38	+3.04
2	+0.79	-157	+1,599	+1.18	+1.25	-1.99	+3.57	+1.78	+3.01
3	+0.72	-352	-5,929	+1.10	+1.12	-3.04	+1.99	+1.41	+1.53
4	+0.71	+1,873	+52,463	+1.08	+0.93	-3.12	+1.54	+2.81	+1.88
5	+0.68	+590	+11,363	+1.38	+1.17	+0.38	+1.38	+2.56	+1.76
	+0.68	+2,089	+119,958	+1.10	+0.95	-1.56	+2.71	+2.46	+1.30
7	+0.67	+749	+15,451	+1.03	+1.01	-0.91	+3.16	+0.37	+3.47
	+0.67	+1,453	+31,200	+1.22	+1.69	-1.14	+0.94	+0.63	+2.19
	+0.67	+1,689	+64,619	+1.07	+0.77	-2.30	+1.71	+1.25	+1.60
10	+0.66	+772	+33,266	+1.06	+0.46	-1.06	+2.35	+3.40	+3.02
	+0.66	+2,729	+79,556	+1.18	+1.47	-0.30	+2.92	+2.11	+0.97
12	+0.61	-209	-55,393	+1.20	+0.41	-0.90	-0.04	+3.94	+1.60
	+0.61	+535	-2,598	+0.94	+0.63	-3.09	+1.05	+2.73	+0.47
	+0.61	+2,628	+79,970	+1.19	+0.85	+0.60	+2.39	+0.36	+0.74
15	+0.59	+2,066	+80,096	+1.02	+1.26	-2.62	+0.05	+1.47	+1.14
16	+0.58	+1,514	+31,900	+0.89	+1.36	-2.54	+0.85	+0.16	+1.88
	+0.58	+2,336	+47,402	+1.14	+0.85	-0.58	+0.35	+3.50	+1.69
	+0.58	+854	+74,960	+0.95	+1.12	-2.48	+1.04	+1.04	+0.25
19	+0.56	+1,685	+89,096	+0.71	+1.18	-3.01	+2.48	+0.04	+0.89
	+0.56	+1,801	+77,222	+0.90	+1.21	-2.04	+1.62	+2.60	+0.50
平均値	+0.66	+1,283	+41,797	+1.09	+1.01	-1.75	+1.71	+1.85	+1.65
下位									
356	-0.34	+586	+4,683	-0.69	-0.33	+1.65	+0.13	-3.19	+0.81
	-0.34	+980	+26,070	-0.59	-0.12	+0.35	-1.45	-1.80	-1.52
358	-0.35	+1,891	+23,118	-0.49	-0.01	+2.26	-1.08	-1.56	-0.40
	-0.35	+2,385	+110,948	-0.64	+0.02	-0.16	-2.20	-0.81	-0.27
360	-0.36	+222	+17,975	-0.61	+0.18	+2.17	+0.32	-0.42	-1.05
	-0.37	+1,858	+14,518	-0.51	+0.03	+0.31	-3.94	-2.92	-0.95
	-0.38	+2,514	+45,259	-0.38	-0.05	+4.97	+0.14	-2.69	-0.93
363	-0.39	+2,039	+102,302	-0.53	+0.62	+3.39	-0.12	-1.18	-0.64
364	-0.40	+2,046	+40,141	-0.81	-0.49	+1.71	+0.80	-3.43	-0.98
365	-0.42	+1,089	+37,272	-0.70	-0.35	+1.00	-1.99	-0.74	-0.45
366	-0.45	+1,714	+69,436	-0.61	+0.23	+1.89	-3.08	+0.07	+0.46
367	-0.47	+1,797	+74,618	-0.46	-0.62	+3.52	-3.64	-0.25	+1.18
368	-0.49	+41	+60,870	-0.88	+0.33	+3.22	+1.47	+1.33	-0.06
	-0.49	+155	+48,239	-0.58	+0.06	+2.11	-3.78	-1.54	-0.95
370	-0.50	+1,209	+39,921	-0.86	-0.29	+1.99	-1.10	-2.39	-0.35
371	-0.51	+1,606	+61,000	-0.77	+0.12	+2.15	-1.68	-2.87	-1.94
372	-0.52	+101	-4,301	-0.81	+0.18	+1.99	-2.12	-1.49	-0.71
373	-0.53	+1,718	+49,668	-0.82	-0.35	+3.36	-0.33	-1.92	-1.23
374	-0.55	+605	-25,781	-0.90	-0.68	+3.18	-0.62	-2.51	-0.47
375	-0.68	+919	+24,714	-1.04	+0.05	+3.12	-1.60	-1.49	-2.45
平均値	-0.44	+1,274	+41,034	-0.68	-0.07	+2.21	-1.29	-1.59	-0.65

表14-34. 2019-8月評価における国内種雄牛375頭を使用した場合の歩様を考慮した繋ぎ飼い集団における肢蹄指数(指数-5)で序列した上位および下位20頭

種雄牛	肢蹄 指数	総合 指数	長命連産 効果(円)	肢蹄 得率	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	歩様
上位									
1	+1.01	+1,024	+9,748	+1.47	+0.58	-3.34	+2.22	+2.38	+3.04
2	+0.84	-157	+1,599	+1.18	+1.25	-1.99	+3.57	+1.78	+3.01
3	+0.79	+590	+11,363	+1.38	+1.17	+0.38	+1.38	+2.56	+1.76
4	+0.78	-352	-5,929	+1.10	+1.12	-3.04	+1.99	+1.41	+1.53
5	+0.77	+1,873	+52,463	+1.08	+0.93	-3.12	+1.54	+2.81	+1.88
6	+0.75	+2,089	+119,958	+1.10	+0.95	-1.56	+2.71	+2.46	+1.30
7	+0.74	+1,453	+31,200	+1.22	+1.69	-1.14	+0.94	+0.63	+2.19
	+0.74	+2,729	+79,556	+1.18	+1.47	-0.30	+2.92	+2.11	+0.97
9	+0.72	+772	+33,266	+1.06	+0.46	-1.06	+2.35	+3.40	+3.02
	+0.72	+1,689	+64,619	+1.07	+0.77	-2.30	+1.71	+1.25	+1.60
11	+0.71	-209	-55,393	+1.20	+0.41	-0.90	-0.04	+3.94	+1.60
12	+0.70	+749	+15,451	+1.03	+1.01	-0.91	+3.16	+0.37	+3.47
13	+0.68	+2,336	+47,402	+1.14	+0.85	-0.58	+0.35	+3.50	+1.69
	+0.68	+2,628	+79,970	+1.19	+0.85	+0.60	+2.39	+0.36	+0.74
15	+0.67	+535	-2,598	+0.94	+0.63	-3.09	+1.05	+2.73	+0.47
16	+0.66	+2,066	+80,096	+1.02	+1.26	-2.62	+0.05	+1.47	+1.14
17	+0.63	+854	+74,960	+0.95	+1.12	-2.48	+1.04	+1.04	+0.25
18	+0.62	+1,801	+77,222	+0.90	+1.21	-2.04	+1.62	+2.60	+0.50
	+0.62	+1,839	+71,351	+0.99	+1.01	-0.50	+2.14	+2.84	+0.19
20	+0.61	+1,893	+53,715	+0.97	+1.40	-1.29	+0.44	+2.64	+1.19
	+0.61	+1,514	+31,900	+0.89	+1.36	-2.54	+0.85	+0.16	+1.88
平均値	+0.72	+1,320	+41,520	+1.10	+1.02	-1.61	+1.64	+2.02	+1.59
下位									
356	-0.39	+1,891	+23,118	-0.49	-0.01	+2.26	-1.08	-1.56	-0.40
357	-0.40	+980	+26,070	-0.59	-0.12	+0.35	-1.45	-1.80	-1.52
	-0.40	+2,385	+110,948	-0.64	+0.02	-0.16	-2.20	-0.81	-0.27
359	-0.41	+222	+17,975	-0.61	+0.18	+2.17	+0.32	-0.42	-1.05
360	-0.42	+2,514	+45,259	-0.38	-0.05	+4.97	+0.14	-2.69	-0.93
	-0.42	+1,858	+14,518	-0.51	+0.03	+0.31	-3.94	-2.92	-0.95
362	-0.43	+2,039	+102,302	-0.53	+0.62	+3.39	-0.12	-1.18	-0.64
	-0.44	+586	+4,683	-0.69	-0.33	+1.65	+0.13	-3.19	+0.81
364	-0.47	+1,089	+37,272	-0.70	-0.35	+1.00	-1.99	-0.74	-0.45
	-0.47	+1,797	+74,618	-0.46	-0.62	+3.52	-3.64	-0.25	+1.18
	-0.47	+1,714	+69,436	-0.61	+0.23	+1.89	-3.08	+0.07	+0.46
367	-0.51	+2,046	+40,141	-0.81	-0.49	+1.71	+0.80	-3.43	-0.98
	-0.51	+155	+48,239	-0.58	+0.06	+2.11	-3.78	-1.54	-0.95
369	-0.54	+41	+60,870	-0.88	+0.33	+3.22	+1.47	+1.33	-0.06
370	-0.58	+101	-4,301	-0.81	+0.18	+1.99	-2.12	-1.49	-0.71
	-0.58	+1,209	+39,921	-0.86	-0.29	+1.99	-1.10	-2.39	-0.35
	-0.58	+1,606	+61,000	-0.77	+0.12	+2.15	-1.68	-2.87	-1.94
373	-0.60	+1,718	+49,668	-0.82	-0.35	+3.36	-0.33	-1.92	-1.23
374	-0.64	+605	-25,781	-0.90	-0.68	+3.18	-0.62	-2.51	-0.47
375	-0.75	+919	+24,714	-1.04	+0.05	+3.12	-1.60	-1.49	-2.45
平均値	-0.50	+1,274	+41,034	-0.68	-0.07	+2.21	-1.29	-1.59	-0.65

表14-35. 2019-8月評価における国内種雄牛375頭を使用した場合の歩様を考慮した繋ぎ飼い集団における肢蹄指数(指数-6)で序列した上位および下位20頭

種雄牛	肢蹄 指数	総合 指数	長命連産 効果(円)	肢蹄 得率	決定 得点	後肢 側望	後肢 後望	蹄の 角度	歩様
上位									
1	+1.00	+1,024	+9,748	+1.47	+0.58	-3.34	+2.22	+2.38	+3.04
2	+0.83	-157	+1,599	+1.18	+1.25	-1.99	+3.57	+1.78	+3.01
3	+0.77	+590	+11,363	+1.38	+1.17	+0.38	+1.38	+2.56	+1.76
	+0.77	-352	-5,929	+1.10	+1.12	-3.04	+1.99	+1.41	+1.53
5	+0.76	+1,873	+52,463	+1.08	+0.93	-3.12	+1.54	+2.81	+1.88
6	+0.75	+1,453	+31,200	+1.22	+1.69	-1.14	+0.94	+0.63	+2.19
7	+0.73	+2,089	+119,958	+1.10	+0.95	-1.56	+2.71	+2.46	+1.30
8	+0.72	+1,689	+64,619	+1.07	+0.77	-2.30	+1.71	+1.25	+1.60
	+0.72	+2,729	+79,556	+1.18	+1.47	-0.30	+2.92	+2.11	+0.97
10	+0.71	+749	+15,451	+1.03	+1.01	-0.91	+3.16	+0.37	+3.47
	+0.71	+772	+33,266	+1.06	+0.46	-1.06	+2.35	+3.40	+3.02
12	+0.70	-209	-55,393	+1.20	+0.41	-0.90	-0.04	+3.94	+1.60
13	+0.69	+2,628	+79,970	+1.19	+0.85	+0.60	+2.39	+0.36	+0.74
14	+0.66	+2,066	+80,096	+1.02	+1.26	-2.62	+0.05	+1.47	+1.14
	+0.66	+2,336	+47,402	+1.14	+0.85	-0.58	+0.35	+3.50	+1.69
16	+0.65	+535	-2,598	+0.94	+0.63	-3.09	+1.05	+2.73	+0.47
17	+0.63	+854	+74,960	+0.95	+1.12	-2.48	+1.04	+1.04	+0.25
18	+0.62	+1,514	+31,900	+0.89	+1.36	-2.54	+0.85	+0.16	+1.88
19	+0.61	+1,801	+77,222	+0.90	+1.21	-2.04	+1.62	+2.60	+0.50
	+0.61	+1,839	+71,351	+0.99	+1.01	-0.50	+2.14	+2.84	+0.19
平均値	+0.72	+1,291	+40,910	+1.10	+1.01	-1.63	+1.70	+1.99	+1.61
下位									
356	-0.35	+980	+26,070	-0.59	-0.12	+0.35	-1.45	-1.80	-1.52
	-0.35	+1,891	+23,118	-0.49	-0.01	+2.26	-1.08	-1.56	-0.40
358	-0.36	+2,514	+45,259	-0.38	-0.05	+4.97	+0.14	-2.69	-0.93
	-0.36	+1,858	+14,518	-0.51	+0.03	+0.31	-3.94	-2.92	-0.95
360	-0.37	+2,385	+110,948	-0.64	+0.02	-0.16	-2.20	-0.81	-0.27
361	-0.38	+586	+4,683	-0.69	-0.33	+1.65	+0.13	-3.19	+0.81
362	-0.39	+222	+17,975	-0.61	+0.18	+2.17	+0.32	-0.42	-1.05
363	-0.40	+2,039	+102,302	-0.53	+0.62	+3.39	-0.12	-1.18	-0.64
364	-0.44	+2,046	+40,141	-0.81	-0.49	+1.71	+0.80	-3.43	-0.98
365	-0.45	+1,089	+37,272	-0.70	-0.35	+1.00	-1.99	-0.74	-0.45
	-0.45	+1,797	+74,618	-0.46	-0.62	+3.52	-3.64	-0.25	+1.18
	-0.46	+1,714	+69,436	-0.61	+0.23	+1.89	-3.08	+0.07	+0.46
368	-0.47	+155	+48,239	-0.58	+0.06	+2.11	-3.78	-1.54	-0.95
369	-0.52	+1,606	+61,000	-0.77	+0.12	+2.15	-1.68	-2.87	-1.94
370	-0.53	+1,209	+39,921	-0.86	-0.29	+1.99	-1.10	-2.39	-0.35
371	-0.54	+101	-4,301	-0.81	+0.18	+1.99	-2.12	-1.49	-0.71
372	-0.55	+41	+60,870	-0.88	+0.33	+3.22	+1.47	+1.33	-0.06
	-0.55	+1,718	+49,668	-0.82	-0.35	+3.36	-0.33	-1.92	-1.23
374	-0.59	+605	-25,781	-0.90	-0.68	+3.18	-0.62	-2.51	-0.47
375	-0.71	+919	+24,714	-1.04	+0.05	+3.12	-1.60	-1.49	-2.45
平均値	-0.46	+1,274	+41,034	-0.68	-0.07	+2.21	-1.29	-1.59	-0.65

NTP と長命連産効果は、上位 20 頭と下位 20 頭の各平均値を比較し大きな差異が認められなかった。このことは、現在の NTP と長命連産効果が肢蹄形質とほとんど関連性を持たないことを示唆している。第 4 章の分析結果によれば、肢蹄形質は長命性との関連を示唆する結果が得られていることから、今回開発した肢蹄指数を NTP や長命連産効果に組み込むことも検討する必要があるだろう。

4. 結論

本分析では、繋ぎ飼い集団と放し飼い集団、さらに歩様のデータが得られない繋ぎ飼い集団に対しても歩様を考慮した場合のそれぞれに適合する肢蹄指数を開発した。肢蹄指数は、肢蹄の得率が高く、肢蹄の各部位を効率よく改良できる種雄牛が上位にランキングされる傾向が見られた。

5. 参考文献

- 1) 一般社団法人家畜改良事業団, 乳用牛群検定全国協議会. 2019. 乳用種雄牛評価成績 2019-8 月
- 2) Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). Proc. 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Montpellier, France. CD-ROM communication 28:07.
- 3) Schaeffer L.R. Strategy for applying genome-wide selection in dairy cattle. J. Anim. Breed. Genet. 2006; 123: 218–223
- 4) Weigel KA, Gianola D. 1993. A computationally simple bayesian method for estimation of heterogeneous within-herd phenotypic variances. J. Dairy Sci. 76: 1455-1465.

第15章 胸囲からの体重推定

1. はじめに

牛の体重計を常備している酪農家は非常に少ないことから、酪農の生産現場において体重を実測することは困難である。そのため、わが国の酪農産業では胸囲を測尺することでホルスタインの体重を推定する手法が開発された。この体重推定尺は、1962(昭和 37)年に日本ホルスタイン登録協会が開発したものが最初である。当時の研究では胸囲の他に体高、腹囲および体長を使用して体重を予測する手法を検討したが、その中で胸囲が最も体重を推定するのに都合が良いことを明らかにした。その後 1985(昭和 60)年には体重推定尺の見直しを行い、現在使用している体重推定尺はこの時に開発したものである。当時の推定尺は胸囲が 80cm から 230cm までしか測定できなかったが、ホルスタインにおける体のサイズが大型化するに伴い、2011 年には 270cm まで胸囲を測定できるようにし、体重の推定範囲を拡張した。

1985(昭和 60)年に開発されてから 25 年が経過したが、その間のホルスタインは体のサイズが顕著に大型化するという現象が起きた。また、当時作成した体重推定尺は、胸囲を 230 cm まで測定できることとし、その後 270cm まで拡張したが、体重の推定精度を検証して拡張したわけではない。本分析の目的は、大型化を続けるホルスタインの最近における体型測尺データに基づき、胸囲と体重の関係を明らかにすることである。

2. 材料および方法

本分析では、第5章で使用した 2003 年から 2015 年生まれの雌牛 3,163 頭から得られた体重(実測)および胸囲に関して 46,208 記録を抽出した。これらの記録は、胸囲が 80 cm から 250 cm の範囲にあるものに編集し、胸囲と体重において欠測のない 45,567 記録を抽出した。表 15-1 には、胸囲の各範囲に対する記録数および月齢と体重の各平均値と標準偏差を示した。胸囲の上昇に伴い平均月齢と平均体重が増加した。

胸囲から体重を推定するために 4 種の統計モデルを仮定した。モデル 1 は 4 次のルジャンドル多項式であり、従属変数の体重を対数変換した。モデル 2 はモデル 1 と同様に 4 次のルジャンドル多項式であるが、各次のルジャンドル項は胸囲の対数変換値から求めた値を使用している。モデル 3 は対数を含む 1 次式、モデル 3 は対数を含む 2 次式である。なお、ここで示した対数はすべて常用対数である。

表15-1. 胸囲の各範囲に対する記録数および月齢と体重の各平均値と標準偏差(SD)

胸囲(cm)	記録数	月 齢		体 重	
		平均	SD	平均	SD
80- 89	1,772	0.2	0.5	48	6.36
90- 99	921	1.8	0.6	74	10.0
100-109	2,131	2.3	0.6	92	12.6
110-119	1,637	3.6	0.9	123	19.5
120-129	2,294	4.5	0.8	156	18.2
130-139	2,352	6.0	1.0	200	24.4
140-149	2,696	7.4	1.3	242	25.6
150-159	3,104	9.2	1.4	290	27.5
160-169	3,619	11.2	1.7	341	30.7
170-179	3,482	13.6	2.3	398	38.1
180-189	3,924	17.4	4.0	473	50.1
190-199	4,746	23.2	7.6	558	67.7
200-209	5,676	30.5	10.2	631	64.5
210-219	4,609	36.4	11.8	688	60.1
220-229	1,990	43.0	12.3	745	64.0
230-239	506	50.4	11.8	814	76.1
240-245	88	57.6	10.4	872	81.3
246-250	20	61.2	8.6	894	98.0

$$\text{モデル 1 : } \text{Log}W = b_0 + b_1Le_1 + b_2Le_2 + b_3Le_3 + b_4Le_4 + e$$

$$\text{モデル 2 : } \text{Log}W = b_0 + b_1LeL_1 + b_2LeL_2 + b_3LeL_3 + b_4LeL_4 + e$$

$$\text{モデル 3 : } \text{Log}W = b_0 + b_1 \text{Log}C + e$$

$$\text{モデル 4 : } \text{Log}W = b_0 + b_1 \text{Log}C + b_2(\text{Log}C)^2 + e$$

ここで、 $\text{Log}W$ ：体重の実測値を対数変換した値、 Le_1 、 Le_2 、 Le_3 および Le_4 ：胸囲における1次から4次のルジャンドル項、 LeL_1 、 LeL_2 、 LeL_3 および LeL_4 ：胸囲の対数変換値から求めた1次から4次のルジャンドル項、 $\text{Log}C$ ：対数変換した胸囲、さらに、 b_0 は切片、 b_1 から b_4 は1次から4次の偏回帰係数および e は残差を示している。分析にはSASのglmプロシジヤ(version 9.4, SAS Institute Inc.)を使用した。

3. 結果および考察

表15-2には、各モデルにおける決定係数と平均平方誤差を示した。モデル1は、他のモデルと比較し決定係数が最も高く、平均平方誤差が最も低いこと

から、適合性が最も高かった。

図 15-1 には、胸囲に対する体重平均値、推定尺の値(1985 年改訂版)および各モデルの推定値を示した。また、表 15-3 には胸囲に対する体重平均値、推定尺の値(1985 年改訂版)および各モデルの推定値、さらに体重の推定値と平均値の差を示した。推定尺による体重は、平均値および本分析で試行した 4 種のモデルと比較し、胸囲が約 210cm を超えない範囲で適合性に大きな違いは認められなかったが、胸囲が 210cm 程度を超えると徐々に体重の平均値と差異が大きくなる傾向が認められた。このことから、現在使用されている体重推定尺は、胸囲が 210cm 以上になると体重を過大推定する傾向が認められた。

表15-2. 各モデルにおける決定係数(R2)と平均平方誤差(MSE)

モデル	R2	MSE
モデル1	0.9846	17.63
モデル2	0.9845	17.75
モデル3	0.9835	18.90
モデル4	0.9842	18.16

4. 結論

本分析では、ホルスタインにおける最新の測尺データを使用し、胸囲から体重を推定するための体重推定尺の見直しを行った。分析の結果、決定係数と平均平方誤差から、従属変数として体重を対数変換した 4 次のルジャンドル多項式(モデル 1)が他のモデルと比較し、胸囲から体重を最適に推定した。

5. 参考文献

- 1) 富士平工業株式会社. 1985. ホル協式牛体重推定尺(ホルスタイン牝牛のみ適用)昭和 60 年 12 月改訂版.
- 2) 社団法人日本ホルスタイン登録協会. 1962. ホルスタイン牝牛の簡易体重推定法. 社団法人日本ホルスタイン登録協会発行.
- 3) 社団法人日本ホルスタイン登録協会. 1995. ホルスタイン種雌牛の標準発育値. 社団法人日本ホルスタイン登録協会発行.
- 4) SAS Institute Inc. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Version 9.4. Cary, NC:SAS Institute, Inc.

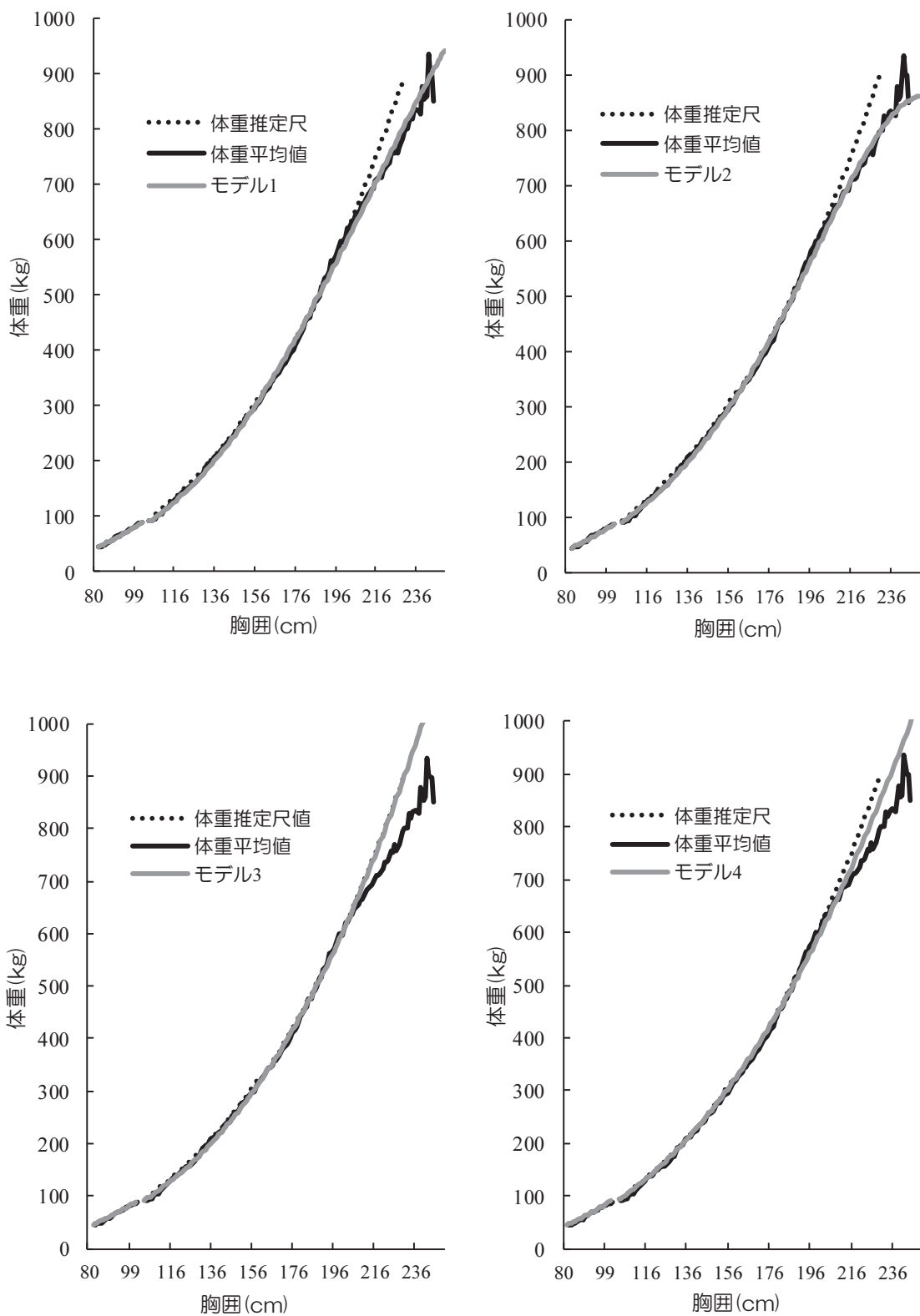


図15-1. 胸囲に対する体重平均値、推定尺の値(1985年改訂版)および各モデルによる推定値

表15-3(1). 胸囲(cm)に対する体重(kg)の平均値、推定尺の値(1985年改訂版)および各モデルの推定値、さらに体重の推定値と平均値の差

胸囲	体重 平均	推定尺	推定値				推定値 - 平均				
			モデル1	モデル2	モデル3	モデル4	推定尺	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4
80	43	43	43	43	43	42		0	0	0	-1
82	46	46	46	46	46	46	0	0	0	0	0
84	48	50	50	49	50	49	2	2	1	2	1
86	51	53	53	53	53	53	2	2	2	2	2
88	57	57	57	57	57	57	0	0	0	0	0
90	62	61	60	60	60	61	-1	-2	-2	-2	-1
92	67	65	64	64	64	65	-2	-3	-3	-3	-2
94	70	70	68	69	68	69	0	-2	-1	-2	-1
96	74	74	73	73	73	74	0	-1	-1	-1	0
98	79	79	77	77	77	78	0	-2	-2	-2	-1
100	83	84	82	82	82	83	1	-1	-1	-1	0
102	86	89	87	87	86	88	3	1	1	0	2
104	92	94	92	92	91	93	2	0	0	-1	1
106	95	100	97	97	96	99	5	2	2	1	4
108	100	106	102	103	102	104	6	2	3	2	4
110	105	112	107	108	107	110	7	2	3	2	5
112	113	121	113	114	113	116	8	0	1	0	3
114	123	127	120	120	119	122	4	-3	-3	-4	-1
116	129	134	125	126	125	129	5	-4	-3	-4	0
118	137	140	132	133	131	135	3	-5	-4	-6	-2
120	142	147	139	140	137	142	5	-3	-2	-5	0
122	149	154	145	146	144	149	5	-4	-3	-5	0
124	155	161	152	153	151	156	6	-3	-2	-4	1
126	160	168	160	161	158	163	8	0	1	-2	3
128	167	176	168	168	165	171	9	1	1	-2	4
130	176	184	176	176	173	178	8	0	0	-3	2
132	190	192	184	184	180	186	2	-6	-6	-10	-4
134	197	200	192	192	188	194	3	-5	-5	-9	-3
136	208	208	201	200	196	203	0	-7	-8	-12	-5
138	213	217	209	209	205	211	4	-4	-4	-8	-2
140	222	226	218	218	213	220	4	-4	-4	-9	-2
142	233	235	227	227	222	229	2	-6	-6	-11	-4
144	239	244	236	236	231	238	5	-3	-3	-8	-1
146	251	254	246	246	241	247	3	-5	-5	-10	-4
148	258	264	256	255	250	257	6	-2	-3	-8	-1
150	267	274	267	265	260	267	7	0	-2	-7	0
152	278	284	277	276	270	277	6	-1	-2	-8	-1
154	289	295	289	286	280	287	6	0	-3	-9	-2
156	295	306	298	297	291	297	11	3	2	-4	2
158	307	317	311	308	301	308	10	4	1	-6	1
160	319	326	321	319	312	319	7	2	0	-7	0
162	329	331	334	331	324	330	2	5	2	-5	1
164	343	343	345	342	335	341	0	2	-1	-8	-2
166	350	355	356	354	347	353	5	6	4	-3	3
168	359	367	368	367	359	364	8	9	8	0	5
170	373	380	380	379	371	376	7	7	6	-2	3

表15-3(2). 胸囲(cm)に対する体重(kg)の平均値、推定尺の値(1985年改訂版)および各モデルの推定値、さらに体重の推定値と平均値の差

胸囲	体重 平均	推定尺	推定値				推定値 - 平均				
			モデル1	モデル2	モデル3	モデル4	推定尺	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4
172	384	393	395	392	384	388	9	11	8	0	4
174	396	406	408	405	397	401	10	12	9	1	5
176	409	419	421	418	410	413	10	12	9	1	4
178	422	433	431	431	423	426	11	9	9	1	4
180	440	447	445	445	437	439	7	5	5	-3	-1
182	456	461	459	458	451	453	5	3	2	-5	-3
184	474	475	473	472	465	466	1	-1	-2	-9	-8
186	488	490	488	487	480	480	2	0	-1	-8	-8
188	498	505	500	501	495	494	7	2	3	-3	-4
190	515	521	515	515	510	508	6	0	0	-5	-7
192	536	536	528	530	526	522	0	-8	-6	-10	-14
194	563	552	544	544	541	537	-11	-19	-19	-22	-26
196	571	569	557	559	557	552	-2	-14	-12	-14	-19
198	590	585	573	574	574	567	-5	-17	-16	-16	-23
200	595	602	586	589	590	582	7	-9	-6	-5	-13
202	620	619	600	604	607	597	-1	-21	-16	-13	-23
204	633	637	617	619	625	613	4	-16	-14	-8	-20
206	645	655	631	634	642	629	10	-14	-11	-2	-16
208	654	673	645	648	660	645	19	-10	-6	6	-9
210	663	691	659	663	679	662	28	-4	0	16	-1
212	682	710	673	677	697	678	28	-9	-5	15	-4
214	691	729	688	692	716	695	38	-3	1	25	4
216	706	749	702	706	736	712	43	-4	0	30	6
218	711	769	717	720	755	730	58	6	8	44	18
220	725	789	732	733	775	747	64	7	8	50	22
222	737	809	747	746	795	765	72	10	9	59	28
224	756	830	762	759	816	783	74	6	3	60	27
226	771	851	777	771	837	801	80	6	0	66	30
228	770	873	792	783	858	820	103	22	13	88	50
230	795	895	807	794	880	838	100	12	-1	85	43
232	801		819	805	902	857		18	4	101	56
234	818		834	814	924	876		16	-3	106	58
236	836		849	823	947	896		13	-12	111	60
238	827		864	832	970	915		37	5	143	88
240	855		876	839	994	935		21	-16	139	80
242	935		891	846	1017	955		-44	-89	83	21
244	898		902	851	1042	976		4	-47	144	78
246	886		917	856	1066	996		30	-31	180	110
248	944		928	859	1091	1017		-16	-85	147	72
250	924		943	861	1116	1038		19	-63	192	114

附表1. 各モデルにおける回帰係数および標準誤差

モデル	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4
モデル1	225.0 ±0.026	39.6 ±0.030	-6.10 ±0.032	0.91 ±0.030	-0.25 ±0.012
モデル2	230.1 ±0.061	50.5 ±0.065	-2.59 ±0.098	-1.66 ±0.051	-0.54 ±0.063
モデル3	-369.7 ±0.374	0.28 ±1.69×10 ⁻⁴			
モデル4	-625.4 ±5.878	0.52 ±5.48×10 ⁻³	-5.55×10 ⁻⁵ ±1.27×10 ⁻⁶		

第16章 本事業の成果と今後の展望

酪農基盤の強化にはホルスタインの生涯生産性向上が重要であるとの考え方から、本事業は2017年度から3年間の計画で長命連産性および生産寿命の延長に関連する体型形質の遺伝改良について研究を進めてきた。本事業では、発育性に優れているが分娩後はあまり大型化せず適正な飼養管理ができるとの考え方からホルスタインの標準発育曲線を推定した。さらに、適正な体のサイズへ遺伝改良するため、体のサイズ指数を開発した。また、長命連産性との関連が指摘されている歩様の遺伝評価手法を確立し、併せて歩様を含めた肢蹄指数を開発した。

特に、近年のホルスタインは大型化し飼養管理上の問題で生産寿命の短縮が懸念されていたが、今回の研究開発事業では全国の試験研究機関からのデータ提供の協力を得て分析を進めた結果、腰角幅以外の形質で体のサイズの大型化を示唆する現象が具体的に明らかになった。一方、初産分娩時における高さ、胸の幅、体の深さ及び坐骨幅はそれぞれ平均スコア5(=142cm)を超えると、淘汰の危険性(リスク比)が上昇することも判明した。しかし、現在生存中の個体は高さの平均スコアが7(=148cm)を超えていることから、標準発育値は現状より成熟値を低く設定し、体のサイズ指数は体貌と骨格や決定得点の改良を進めながらも平均的な体のサイズを現状より小さい方向に選抜するよう開発した。

歩様は遺伝率が低いにも関わらず、生産寿命及び長命連産性との関連があることがわかっていたが、放し飼い集団でなければ評価できないという課題があった。本研究ではSNP(遺伝子型)情報を利用して、繋ぎ飼い集団における歩様の育種価を間接推定する手法を開発することができた。肢蹄指数は、生存時間解析の結果に基づき、肢蹄得率の改良を進めながら、後肢後望と歩様は正方向、後肢側望は負方向及び蹄の角度はスコア5に近似する方向に種雄牛と雌牛を選抜する指数として開発した。

体のサイズ指数と肢蹄指数の開発は、すでに利用されている乳房成分とともに長命連産性および生産寿命の延長が期待できる間接選抜をさらに効果的に実行可能になるので、本事業はホルスタインの改良に必要な実用的な選抜ツールを手中に入れたという意味で大きな成果が得られたと推察される。今後は、これらの指数により遺伝的に最適な体のサイズおよび優れた肢蹄を有する種畜を確実に選抜できるかを注視していくことになるが、一方でこれら体型に関する指数を実際の選抜・交配に活用するため、NTP(日本の総合指数)および長命連産効果に組み入れる方法を検討する段階に移ることになり、さらに継続的な調査研究が求められるものと考えている。

付 録

線形審査による体型評価

種雄牛の遺伝的な体型評価は、娘牛の審査標準に基づく得点データと、線形審査データとを集計・分析することにより、体型形質に対する種雄牛の遺伝的特徴を具体的に把握・評価するものである。

線形評価法は、雌牛を対象として、遺伝的、経済的に重要な体型22形質を選び、それぞれの形質について、1

から9までの9段階の連続的に評価できる基準を設け、各形質の生物学的特徴を評価する手法である。さらに、このデータを集計・分析することによって、種雄牛(各雌牛にとっては父牛)の遺伝的特徴を具体的に把握・評価することが可能となる。

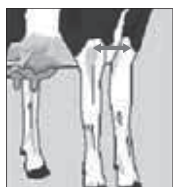
線形形質表

○高 さ



- 9 高 い
- 7 やや高い
- 5 中等度
- 3 やや低い
- 1 極めて低い

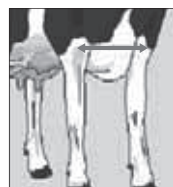
○胸の幅



1



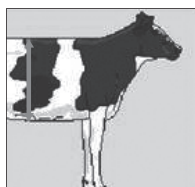
5



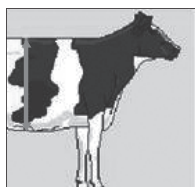
9

- 9 極めて幅広い
- 7 広い
- 5 中等度
- 3 狭い
- 1 極めて狭い

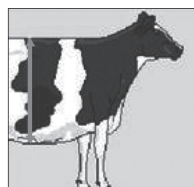
○体の深さ



1



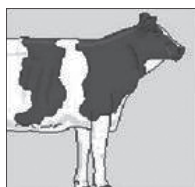
5



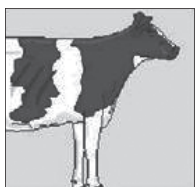
9

- 9 極めて深い
- 7 深い
- 5 中等度
- 3 浅い
- 1 極めて浅い

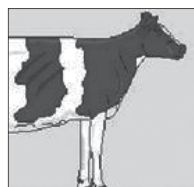
○鋭角性



1



5



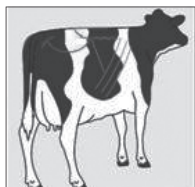
9

- 9 平骨で極めて斜め後方によく開張
- 7 平骨でよく 後方に開張
- 5 中等度の骨質と 肋の開張
- 3 立ち気味の肋で骨質と 開張度に欠ける
- 1 立った肋で骨質と 開張度に欠ける

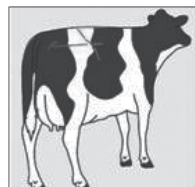
○BCS(ボディコンディションスコア)



1



5



9

- 9 極めて太っている(肥え)
- 7 太っている
- 5 中等度
- 3 痩せている
- 1 極めて痩せている(痩せ)

○尻の角度



1



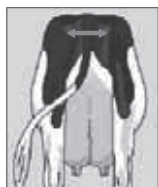
5



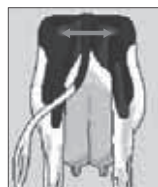
9

- 9 坐骨が腰角より極めて低い
- 7 ある程度低い
- 5 わずかに低い
- 3 水平
- 1 極めて高い

○坐骨幅



1



5



9

- 9 極めて幅広い
- 7 幅広い
- 5 中等度
- 3 狭い
- 1 極めて狭い

○後肢側望



1



5



9

- 9 曲飛
- 7 曲飛に近い
- 5 中等度
- 3 直飛に近い
- 1 直飛

○後肢骨質



1



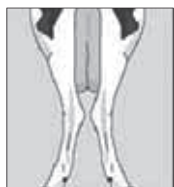
5



9

- 9 極めて鮮明で平骨
- 7 鮮明で平骨
- 5 中等度
- 3 不鮮明でやや丸骨
- 1 極めて不鮮明でやや丸骨

○後肢後望



1



5



9

- 9 飛節が平行
- 7 わずかに寄る
- 5 やや寄る
- 3 ある程度寄る
- 1 極めて寄る

○蹄の角度



1



5



9

- 9 極めて立った蹄
- 7 やや立った蹄
- 5 中等度
- 3 小さい角度
- 1 極めて小さい角度

○蹄踵の厚さ



1



5



9

- 9 極めて厚い
- 7 やや厚い
- 5 中等度
- 3 やや薄い
- 1 極めて薄い

○歩様



1



5



9

- 9 外転しない歩行で、広い歩幅
- 7
- 5 わずかに外転した歩行で、中程度の歩幅
- 3
- 1 極めて外転した歩行で、短い歩幅

○前乳房の付着



1



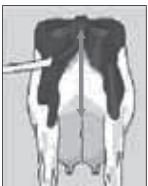
5



9

- 9 極めて強い
- 7 強い
- 5 中等度
- 3 弱い
- 1 極めて弱い

○後乳房の高さ



1



5



9

- 9 極めて高い
- 7 高い
- 5 中等度
- 3 低い
- 1 極めて低い

○後乳房の幅



1



5



9

- 9 極めて広い
- 7 広い
- 5 中等度
- 3 狭い
- 1 極めて狭い

○乳房の懸垂



1



5



9

- 9 極めて深く明瞭
- 7 深く明瞭
- 5 やや明瞭
- 3 弱い
- 1 極めて弱い

○乳房の深さ



1



5



9

- 9 飛節端より極めて浅い
- 7 浅い
- 5 やや浅い
- 3 飛節端と同じ
- 1 飛節端より極めて深い

○前乳頭の配置(後望)



1



5



9

- 9 極めて内付き
- 7 やや内付き
- 5 中央に配置
- 3 やや外付き
- 1 極めて外付き

○後乳頭の配置(後望)



1



4



9

- 9 内側に付き、交叉する
- 7 乳頭が触れる
- 4 中央に配置
- 3 やや外付き
- 1 極めて外付き

○前乳頭の長さ



1



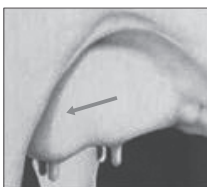
5



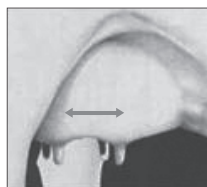
9

- 9 極めて長い
- 7 長い
- 5 中等度
- 3 短い
- 1 極めて短い

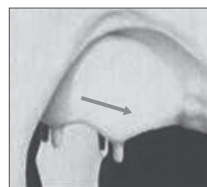
○乳房の傾斜



1



5



9

- 9 極めて前乳区へ傾斜
- 7 やや前乳区へ傾斜
- 5 水平
- 3 やや後乳区へ傾斜
- 1 極めて後乳区へ傾斜

乳用牛DNA情報による長命連産性向上事業報告書

令和2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