

北海道のホルスタイン種乳牛の繁殖形質に対する
表型および遺伝的分析

平成 21 年
(2009 年 1 月)

帯広畜産大学大学院 畜産学研究科
修士課程 畜産管理学専攻

阿部 隼人

Phenotypic and Genetic Analysis for Reproductive
Traits of Holsteins in Hokkaido

January 2009

Hayato Abe

Master Course of
Animal Production and Agricultural Economics
GRADUATE SCHOOL OF
OBIHIRO UNIVERSITY

目次

第 1 章 緒論	1
1.1 繁殖形質の改良の必要性	1
1.2 繁殖形質の定義と問題点	2
1.3 繁殖形質の分析における問題点	3
1.4 繁殖形質に対する遺伝分析結果の概説	5
1.5 諸外国およびインターブルにおける繁殖形質の遺伝評価概況	6
1.6 本研究の目的	9
第 2 章 北海道のホルスタイン種における繁殖形質の表型的分析	10
2.1 緒言	10
2.2 材料および方法	11
2.3 結果および考察	13
第 3 章 北海道のホルスタイン種における未経産ならびに経産牛繁殖形質と生産形質の遺伝および表型的関連	31
3.1 緒言	31
3.2 材料および方法	31
3.3 結果および考察	35
第 4 章 北海道のホルスタイン種における繁殖形質に対する遺伝的趨勢および各効果の寄与	43
4.1 緒言	43
4.2 材料および方法	43
4.3 結果および考察	45
要約	57
謝辞	59
参考文献	60
英文抄録	64

第 1 章

緒論

1.1 繁殖形質の改良の必要性

乳牛において、良好な繁殖能力は生涯生産性を高める上で不可欠である。1990 年代以降、繁殖能力の減退が問題視されるようになり、対立的な遺伝相関に起因する負の相関反応、高泌乳化に伴うエネルギーの未充足、繁殖性より生産量を重視した飼養管理など、多くの要因が指摘されているが、根本的な解決には至っていない (Lucy 2001; Pryce ら 2004)。

繁殖能力減退の要因の中で、家畜育種学的な視点では、種々の研究において指摘されている生産形質と繁殖形質間の遺伝的な対立関係 (Dematawewa と Berger 1998; Haile-Mariam ら 2003; Kadarmideen ら 2003; 阿部ら 2008) が問題となる。概して繁殖形質の遺伝率は低く、生産形質に対する選抜による相関反応は小さいと期待されるものの、遺伝的な繁殖能力の低下は避けられない。実際に、繁殖形質に関する遺伝的趨勢の悪化傾向を示した研究もある (Liu ら 2008)。こうした背景から、繁殖形質を総合指数へ含める国は増加しており、インターブルも 2007 年より繁殖形質の国際種雄牛評価の公表を開始している (International Bull Evaluation Service (以下 Interbull), 2008)。

一方、わが国においても生産形質以外の機能的形質への関心の高まりを受け、種々の機能的形質に対する遺伝評価は開始されたものの (家畜改良センター 2007)、繁殖形質の評価は行なわれておらず、遺伝分析もあまり行なわれていない (Atagi と Hagiya 2005; 阿部ら 2008)。特に、未經産牛繁殖形質の報告例は国内に存在しない。表型値を見ると、空胎日数、初回授精日数とも延長傾向にある (阿部ら 2008; 家畜改良事業団 2008)。以上の背景から、繁殖形質の遺伝分析は不可欠である。

1.2 繁殖形質の定義と問題点

1.2.1 日数形質 (interval trait)

図 1.1 に示したように、繁殖に関する事象間の日数で表される形質である。

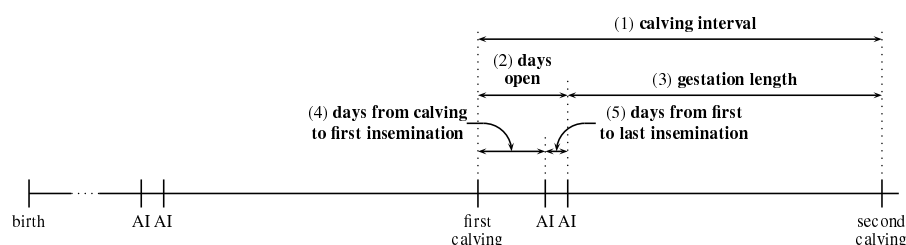


図 1.1 日数形質

初回授精日数 (**DFS**: days from calving to first service), 分娩間隔 (**CI**: calving interval) および空胎日数 (**DO**: days open) は、後述する日数以外で表される形質に比べ、線形モデル分析を適用しやすく、また授精記録の正確性に対する依存度も低いため、世界的に広く用いられている。妊娠期間 (**GL**: gestation length) は生物学的にほとんど変化せず、実空胎日数あるいは初回–最終授精日数 (**DLS**: days from first to last service) は非常に歪んだ分布を呈することから、遺伝評価の対象形質とされることは少ない (Interbull 2008)。なおアメリカは、空胎日数の関数である娘牛妊娠率 (**DPR**: daughter pregnancy rate) を遺伝評価の対象としている (VanRaden ら 2004):

$$(\text{DPR}) = 0.25 \times (233 - \text{DO})$$

1.2.2 日数以外で表される形質

授精の結果に基づき、2 値あるいは順序カテゴリカル形質として表される形質である。代表的なものとして、授精回数 (**NS**: number of services), 初回授精受胎率 (**CR**: first service conception rate, 初回授精で受胎した場合 1, 受胎しない場合 0), ノンリターン率 (**NR**: nonreturn rate, 初回授精から任意に定めた日数 (56 日, 90 日など) までに次の授精のない場合 1, 授精のある場合 0) が挙げられる。

上記の形質は 1 産次に対し 1 個の記録が得られることになるが、産次ごとのすべての授精について、個々の授精の成功を 1, 失敗を 0 として授精結果を並べたものを受胎率

(conception rate) と呼ぶこともある (Averill ら 2006)。つまり、複数回授精していれば、「0 0 1」というように複数の値が並ぶ経時測定 2 値データ (longitudinal binary data) である。

1.2.3 未経産牛の繁殖形質

日数形質を定義できないことから、未経産牛に対しては NS, CR および NR のほか、初産分娩月齢 (AFC: age at first calving), 初回授精日齢 (AFS: age at first service) あるいは受胎日齢 (AC: age at conception) といった形質が用いられている。

1.2.4 その他の形質

このほか、種雄牛における精液の品質、黄体ホルモン、卵胞刺激ホルモンあるいはプロジェステロンといった生理学的特徴も繁殖形質とみなせるが、Thaller (1997) の指摘するように、大規模、安価かつ正確な測定は不可能であって、現時点で遺伝評価対象形質とすることは困難である。

1.3 繁殖形質の分析における問題点

1.3.1 歪んだ分布

繁殖形質は、生産形質とは異なり正規分布からは大きく歪んだ分布を呈する。図 1.2 は、北海道において 2000 年に分娩した個体の DO の分布である。

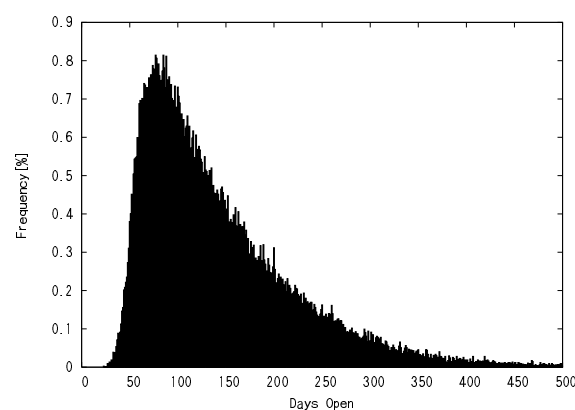


図 1.2 空胎日数のヒストグラム

NS や DFS についても、同様な分布をなすことが知られている。

遺伝分析も含め、線形モデルによる分析はデータの正規性を仮定している。こうした観察

値をそのまま使用することで推定値の偏る可能性があり、繁殖形質に対する分析結果の正確性には疑問が残る。また日数形質には、管理慣行の影響を排除できないという問題も残る。DFS は発情回復能力の指標となり、DO はそれに加え受胎能力の指標となるが、高泌乳牛に対する意図的な授精日の延長や、発情誤発見といった要因を分析から取り除くことができず、繁殖形質の遺伝評価の精度を低下させる原因となる。

1.3.2 データの正確性

生産形質に比して、繁殖に関する記録、特に授精記録は正確に集積されているとはいいいがたい。特に諸外国において、このことは大きな問題となっている。わが国においても、授精記録の欠測は存在し、特定の牛群について授精記録が全くないことすらある。こうした記録が多いと、データの編集方法によって推定値が大きく変動することになる。これも、繁殖形質に対する分析結果の正確性を下げる要因の一つである。

1.3.3 終端記録の扱い

データの正確性ともかかわる問題であるが、終端記録（淘汰産次の記録）の扱い方も、分析の結果を左右する要因である。図 1.1 からわかるように、分娩間隔については次の産次の記録がなくては測定できず、空胎日数や実空胎日数は次の産次の記録または受胎確認の記録がなければ測定できない。わが国においては、授精データの集積は進んでいるものの、受胎確認についてのデータの集積度合は高くない。また、初産後の繁殖障害で淘汰されるような個体に対しては記録を得られず、初産記録が欠測となる個体も多数生じる。これについては、生産形質などとの多形質分析によって記録のない個体についても評価対象とするといった対策が提案されており（Kadarmideen ら 2003）、オランダでは初産繁殖形質について、生産形質および体型形質との同時評価が行なわれている（Interbull 2008）。

こうしたデータの扱いは研究ごとに異なっており、統一された編集条件は存在しない。

1.4 繁殖形質に対する遺伝分析結果の概説

繁殖形質の分析は以前から行なわれており, Smith と Legates (1962) によると, 1950 年代には生産形質と繁殖形質の対立的関係が指摘されていた。ただし, 詳細な繁殖成績の記録を行なっている国はまだ少なく, 独自に成績を記録している特定の牛群のデータしか使用できないことが多かった。加えて, 計算機の制約, 分析手法の未確立といった問題もあった。欧州では比較的早い時期から繁殖形質が注目されており (Philipsson ら 1994), 例えばノルウェーでは, ノルウェー赤牛の総合指数に対し 1972 年から繁殖形質が含まれている (Andersen-Ranberg ら 2005)。

1980 年代には, 米国でも繁殖形質の重要性が認識されており, Hansen ら (1983) は, 繁殖障害が乳牛の主たる淘汰要因となっていることを指摘し, 未経産牛ならびに経産牛繁殖形質と生産形質に対する包括的な遺伝分析を行なっている。その結果, 経産牛繁殖形質と生産形質間の対立的な遺伝相関が示された。

1990 年代には, 計算機の能力の飛躍的な向上, 分析手法の発展を受け, より大規模なデータによる分析が行なわれるようになっていった。例えば Dematawewa と Berger (1998) は, 経産牛繁殖形質および生産形質に対し多形質アニマルモデルを適用して遺伝的パラメータの REML 推定値を求め, それ以前に指摘されていた繁殖ならびに生産形質間の対立関係を裏付けている。

こうした繁殖形質に関する遺伝分析の結果から, (1) 遺伝率は低い, (2) 生産形質との遺伝相関は中程度の正の値である (つまり望ましくない), (3) 生産形質との表型相関は遺伝相関ほど高くない, および (4) 未経産牛と経産牛の繁殖形質は必ずしも遺伝的に同一ではないかもしれない, ということが明らかになってきている。特に生産形質との対立的な遺伝相関は各国で問題視され, 次節に示すように, 総合指数へ繁殖形質を組み込む国は増加してきている。

一方, わが国においては, 授精記録を用いた繁殖形質分析はほとんど行なわれていない。鈴木と光本 (1981), 河原ら (1996) は AFC の遺伝率をそれぞれ 0.32, 0.10 と推定し, 藤田と鈴木 (2006) は AFC, 初産 CI および 2 産 CI の遺伝率をそれぞれ 0.12, 0.06 および 0.05 と

推定している。また, Atagi と Hagiya (2005) は DO の遺伝率および反復率をそれぞれ 0.05 および 0.11 と推定しているが, この報告において用いられた DO は CI から間接計算されたものである。

1.5 諸外国およびインターブルにおける繁殖形質の遺伝評価概況

インターブルは, 2007 年 2 月より繁殖形質の国際種雄牛評価を公表している。世界各国で種々の繁殖形質が用いられており, インターブルではこれらの形質を次のように大きく五つのカテゴリに分けている (Interbull 2008):

- T1 (HC): 未経産牛の受胎能力 (Maiden Heifer's ability to Conceive) で, CR といった受胎確認に関する測定値がこのグループに含まれる。受胎確認記録のないとき, DLS, NS および NR (主に授精 56 日後を判断基準とする NR56) を代わりに用いる。
- T2 (CR): 経産牛の分娩後発情回帰能力 (Lactating Cow's ability to Recycle after calving) で, DFS がこのグループに含まれる。DFS の記録のない場合, DO, CI を代わりに用いる。
- T3 (C1): 経産牛の受胎能力 (Lactating Cow's ability to conceive 1) の中で率あるいは割合で示されるもので, CR や NR がこのグループに含まれる。
- T4 (C2): 経産牛の受胎能力 (Lactating Cow's ability to conceive 2) の中で日数で示されるもので, 初回授精-受胎日数 (DLS との違いは受胎確認の有無) または DLS がこのグループに含まれる。NS を代わりに用いてもよい。これらの形質が記録されていない場合には, DO や CI といった分娩から受胎までの間隔の指標を用いる。DO や CI もない場合には, T3 と同一の形質を用いる。
- T5 (IT): 経産牛の分娩から受胎までの日数形質の測定値 (Lactating cow's measurements of Interval Traits calving-conception) で, DO や CI などがこのグループに含まれる。

多様な繁殖形質が定義可能であり、各国で評価状況も異なっているため、重複も許した形のグループ分けとなっている。

なお 2008 年 8 月時点での参加国は、ベルギー、カナダ、チェコ、ドイツ、スペイン、フランス、イギリス、アイルランド、イスラエル、イタリア、オランダ、ノルウェー（ノルウェー赤牛）、ニュージーランド、アメリカ、北欧諸国（デンマーク、フィンランドならびにスウェーデン）、およびスイス（ホルスタインおよび Red Holstein）である。

繁殖形質の遺伝評価を行なっている国の概況を表 1.1 に示した。NR あるいは日数形質を用いる国の多い一方で、ニュージーランドは独自に形質を定義している。未経産牛繁殖形質を扱っている国は少なく、遺伝分析の報告数も経産牛繁殖形質に対するものに比べ少ない。

多くの国がアニマルモデルを採用しており、繁殖形質を総合指数へ組み込んでいる国も多い。しかし遺伝率は最大でも 0.1 程度と一様に低く、指数算出の際に付けられる重みもそれほど大きいものではない。

表 1.1 各国の遺伝評価状況¹

国名	産次 ²	形質 ³	遺伝率	総合指数 への組込	モデル ⁴ ・備考
アイルランド	1 - 3	CI	0.05	あり	MT-AM, モデルに生産、体型および長命性形質含む
アメリカ	1 - 5	DPR	0.04	あり	ST-RP-AM
イギリス	1	NR56 CI	0.02 0.03	あり	MT-AM, モデルに DFS, NS, 生産形質および BCS 含む
イスラエル	1 - 5	NS	0.02	あり	MT-AM, NS の逆数の百分率を使用, 2 から 5 産も別形質として評価
イタリア	1	NR56 DFS CI	0.01 0.06 0.04	なし	MT-AM, モデルに生産および体型形質含む
オランダ	1 - 3	NR56 DFS CI	0.02 0.08 0.04	あり	MT-AM, 初産のみモデルに生産および体型形質含む, 2 および 3 産形質を別形質として評価, フランダース地方含む
カナダ	0 全	NR56 NR56 DFS DLS DO	0.03 0.04 0.07 0.08 0.11	あり	MT-RP-AM
スイス	全	NR56 DFS	0.01 0.06	あり	MT-AM
スペイン	1 - 5	DO	0.05	なし	ST-RP-AM
チェコ	1 - 3	NR	0.03	検討中	ST, 3 ヶ月後の妊娠確認に基づく
デンマーク, フィンランド, スウェーデン	0 1 - 3	NR56 NR56 DFS DLS DO	0.01 0.02 0.04 0.02 0.03	あり	RP-SM
ドイツ, オーストリア, ルクセンブルク	0 - 全	NR90	0.02	あり	RP-AM, 授精サイアーの効果含む
ニュージーランド	1 2	PM21 CR42	0.05 0.03	あり	MT-AM
ノルウェー	0 1 - 4	NR56 NR56 DFS	0.03 0.04 0.07	あり	MT-AM, 品種はノルウェー赤牛, 2 から 4 産形質は, まとめて初産と別形質として評価
フランス	0 - 3	CR	0.02	あり	RP-ST-AM, MT-AM

¹ 異なる産次の経産牛形質を別形質として評価している場合, もっとも若い産次のみの遺伝率を掲載

² 0: 未経産, 全: 初産以降すべて

³ CI: 分娩間隔, CR: 初回授精受胎率, CR42: 分娩期間 42 日目までの分娩の有無, DFS: 初回授精日数, DLS: 初回-最終授精日数, DO: 空胎日数, DPR: 娘牛妊娠率, NS: 授精回数, NR56: 56 日ノンリターン率, NR90: 90 日ノンリターン率, PM21: 交配期間 21 日目までの交配の有無 (2 値)

⁴ ST: 単形質, MT: 多形質, RP: 反復記録, SM: サイアーモデル, AM: アニマルモデル

1.6 本研究の目的

本研究の目的は、表型および遺伝的な繁殖形質の分析、さらに生産形質との遺伝的関連の調査である。第 2 章では、繁殖形質の表型値に着目し、表型的な悪化傾向の有無を調査し、影響要因について検討した。第 3 章では、単形質および多形質分析により、繁殖形質の遺伝率、繁殖形質間の関連および繁殖と生産形質間の関連を推定した。第 4 章では、繁殖形質に対する母数効果、管理グループ効果ならびに育種価を推定し、遺伝的趨勢の算出と各効果の寄与の比較を行なった。

第 2 章

北海道のホルスタイン種における繁殖形質の表型的分析

2.1 緒言

近年、乳牛の改良目標は、生産形質に秀でた個体から、NTP の導入により、生涯生産性あるいは長命連産性など総合的にすぐれた個体の作出へと向けられるようになった（家畜改良センター 2007）。しかし、これまで繁殖形質に対する遺伝分析はほとんど行なわれておらず、表型値に関しても、全国あるいは都道府県別に年次別の平均値が公表されている程度である（家畜改良事業団 2008）。

多くの研究が生産形質と経産牛繁殖形質間の遺伝的な対立関係を示しているが（Dematawewa と Berger 1998; Haile-Mariam ら 2003; Kadarmideen ら 2003; 阿部ら 2008）、平均乳量の高い牛群ほど平均空胎日数が少ないという結果を示した報告も Nebel と McGilliard (1993) において複数挙げられており、地域や牛群規模といった区分別に統計を取ることで、管理面からの繁殖能力の改善の指標を得られるかもしれない。

一方、多くの繁殖形質の表型値の計算には授精記録が必要であり、その記録精度は分析の正確性を左右する（Pryce ら 2004）。わが国における授精記録の集積は 1980 年代半ばから始まっているが、すべての授精が報告されているわけではなく、とりわけ報告の義務付けられていない未經産牛授精記録の報告率は低い。また、こうした授精記録の報告の度合は、酪農家の繁殖管理に対する意識の指標とともとることができ、さらには遺伝分析の結果の信頼性の指標ともなりうる。

本章の目的は、授精記録の報告率の計算を通して授精記録の精度を検討すること、未經産牛ならびに経産牛繁殖形質について牛群規模、相対牛群平均乳量といった区分別の年次推移を算出すること、および繁殖形質に対する影響要因を推定し、繁殖形質の表型および環境的な傾向を調査することである。

2.2 材料および方法

(社) 北海道酪農検定検査協会により集積された、1990 年から 2003 年までに北海道で分娩した個体の分娩ならびに授精記録、および乳期記録を分析に用いた。繁殖記録から、未経産牛繁殖形質として初回授精日齢 (AFS), 受胎日齢 (AC) および初回授精受胎率 (CR) を、初産ならびに 2 産牛に対し初回授精日数 (DFS), 空胎日数 (DO) および CR を計算した。わが国においては妊娠鑑定の報告が義務付けられておらず、妊娠確認の報告されている個体は初産で 20% 程度である。したがって、次の産次の記録の存在する産次の記録に対してのみ、各繁殖形質を計算した。CR については、1 産次内で複数回の授精の報告されている場合に 0 とし、そうでない場合に 1 と定義した。ただし、前回の授精から 10 日以内の授精については同一回の授精とみなし、削除した。

次いで乳期記録から、牛群・初回授精年あるいは分娩年毎の初産から 5 産までの分娩個体数、牛群平均乳量の各年の全体平均乳量からの偏差 (相対牛群平均乳量) を算出し、それぞれ牛群規模、牛群レベルとした。次いで、1990 年から 1994 年、1995 年から 1999 年および 2000 年から 2003 年の 3 年代区分に対し、牛群規模、牛群レベル、分娩月、支庁および産次別に各形質の要約統計量を算出し、SAS の GLM プロシジャにより各要因の寄与を算出した。CR については SAS の LOGISTIC プロシジャによるロジスティック回帰分析も適用したが、各要因の寄与が GLM プロシジャによる結果とほぼ同一となったため、GLM プロシジャにより得られた結果のみを示すこととした。

牛群規模に対しては小規模 (30 頭以下)、中規模 (31 頭から 45 頭) および大規模 (46 頭以上)、牛群レベルに対しては低泌乳 (-500kg 未満)、中泌乳 (-500 から 500kg)、高泌乳 (500kg 以上) とそれぞれ 3 区分を設けた。

牛群平均乳量の計算に際し、搾乳日数が 305 日以上 of 産次の記録については 305 日までの合計生産量を、240 日以上 305 日未満の産次の記録については乳期終了までの合計生産量を用いた。上記計算方法から得られた乳量記録のうち、平均から 3 標準偏差単位内に入らない記録を削除した。

さらに繁殖形質および乳量について、2 回搾乳でない記録、初産分娩日の不明な記録、移動

歴のある個体の全記録, 流産ならびに供卵のある産次の記録, 父の不明な記録, 生年月日とその母の分娩年月日の一致しない記録, DO が分娩間隔と 280 日の差から 2 週間以上前後する記録, 分娩月齢が初産に対し 20 ヶ月から 43 ヶ月, 2 産に対し 32 ヶ月から 59 ヶ月の範囲に入らない記録を削除した。また, AFS, DFS, DO ならびに授精回数がそれぞれ 321 日から 1082 日, 21 日から 200 日, 21 日から 410 日ならびに 1 回から 10 回の範囲内の記録のみを用いた。

さらに, 上記の編集により得られたデータセット内の個体に関して, 初産分娩記録に対する未経産授精記録の有無, および 2 産分娩記録に対する初産授精記録の有無を検証し, 牛群ごとに授精記録の報告率を求めた。ここで得られた報告率を牛群規模, 牛群レベル, 支庁別に分類し, 区分ごとの平均報告率を求めた。

未経産牛 AC および AFS に適用したモデルを以下に示した。

$$y_{ijkl} = L_i + S_j + (L \times S)_{ij} + RFY_k + FYM_\ell + e_{ijkl}$$

ここで, y_{ijkl} は観察値, L_i , S_j , $(L \times S)_{ij}$, RFY_k および FYM_ℓ はそれぞれ牛群レベル, 牛群規模, 牛群レベルと牛群規模の相互作用, 支庁-初回授精年, 初回授精年月の母数効果, e_{ijkl} は残差である。

未経産牛 CR に適用したモデルを以下に示した。

$$y_{ijklm} = L_i + S_j + (L \times S)_{ij} + RFY_k + FYM_\ell + FA_m + e_{ijklm}$$

ここで, y_{ijklm} , L_i , S_j , $(L \times S)_{ij}$, RFY_k , FYM_ℓ および e_{ijklm} は上記モデルと同様であり, FA_m は初回授精月齢クラスの母数効果である。初回授精月齢クラスは, 14 ヶ月未満, 15 ヶ月, 16 ヶ月, 17 ヶ月, 18 ヶ月, 19 ヶ月以上の 6 カテゴリーとした。

初産および 2 産繁殖形質に対し適用したモデルを以下に示した。

$$y_{ijklmn} = L_i + S_j + (L \times S)_{ij} + RCY_k + CYM_\ell + CA_m + e_{ijklmn}$$

ここで, y_{ijklmn} , L_i , S_j , $(L \times S)_{ij}$ および e_{ijklmn} は上記モデルと同様であり, RCY_k , CYM_ℓ および CA_m はそれぞれ支庁-分娩年, 分娩年月および分娩月齢クラスの母数効果である。初産形質に対する分娩月齢クラスは, 20 ヶ月齢から 43 ヶ月齢の間で 4 ヶ月ずつ区切った 6

カテゴリ, 2 産形質に対する分娩月齢クラスは, 32 ヶ月齢から 59 ヶ月齢の間で 4 ヶ月ずつ区切った 7 カテゴリとした。

2.3 結果および考察

授精記録の報告率

初産分娩年カテゴリ別, 牛群レベルならびに牛群規模別, および支庁別の各牛群における授精記録の平均報告率をそれぞれ表 2.1, 表 2.2 および表 2.3 に示した。表 2.1 を見ると, 未経産, 初産授精記録とも報告率は上昇傾向にあり, 繁殖能力の重要性に対する認識の深まりが伺える。しかし, 未経産および初産における報告率の差は近年でも 50% 程度と大きい。未経産牛繁殖形質は, 初産繁殖形質に比べ早期に測定可能という点では選抜に有利な形質であり, 今後の更なる集積率の向上が望まれる。

表 2.2 を見ると, 異なる牛群レベルおよび規模間での授精記録の報告率の差異は, 1990 年代初頭にはみられない。一方, 1990 年代後半から近年では, 小規模牛群での報告率の増加割合に比べ中規模ならびに大規模牛群での報告率の増加が目立ち, 近年では未経産牛授精記録で最大 10% 程度, 経産牛授精記録で 3% 程度の開きが生じている。また表 2.3 を見ると, 経産牛授精記録の報告率はいずれの支庁でも増加傾向にあるが, 未経産牛授精記録の報告率は石狩, 空知, 上川, 檜山, 渡島および留萌で減少あるいは横ばい, それ以外の支庁で増加傾向にある。特に近年ではもっとも報告率の高い支庁 (根室) と低い支庁 (上川) とで 45% 程度の差がある。こうした支庁あるいは牛群規模間での報告率の差異は遺伝分析における育種価の推定精度に影響を及ぼしかねず, 繁殖管理に対する酪農現場の意識向上という観点からも, 全道的な報告率向上の取り組みが必要である。

表 2.1 授精記録の平均報告率

初産分娩年	未経産		初産	
	牛群数	平均 [%]	牛群数	平均 [%]
1990 - 1994	7,901	27.1	7,620	85.2
1995 - 1999	6,358	33.6	6,257	90.7
2000 - 2003	5,527	40.0	5,361	94.0

表 2.2 牛群レベルおよび牛群規模別の授精記録の平均報告率

初産分娩年	牛群 レベル	牛群 規模	未経産		初産	
			牛群数	平均 [%]	牛群数	平均 [%]
1990 - 1994	低	小	1,157	26.9	1,061	84.7
	低	中	1,004	27.6	958	86.2
	低	大	526	27.0	513	82.8
	中	小	1,305	27.3	1,249	84.4
	中	中	1,460	27.3	1,440	85.3
	中	大	880	26.4	869	85.8
	高	小	452	27.5	429	83.8
	高	中	618	26.9	611	86.6
	高	大	499	26.3	490	86.9
1995 - 1999	低	小	705	27.8	672	87.6
	低	中	866	37.3	849	92.1
	低	大	705	39.3	695	91.7
	中	小	702	29.3	685	88.7
	中	中	1,018	33.4	1,010	90.8
	中	大	1,008	34.5	998	91.7
	高	小	257	29.9	255	88.3
	高	中	475	33.4	474	90.7
	高	大	622	34.4	619	92.0
2000 - 2003	低	小	466	33.9	430	91.6
	低	中	723	43.3	687	94.1
	低	大	569	45.7	538	94.6
	中	小	521	35.0	505	93.1
	中	中	1,049	40.7	1,035	94.2
	中	大	1,092	40.7	1,078	94.6
	高	小	156	36.8	150	93.1
	高	中	392	38.6	387	93.2
	高	大	559	38.7	551	95.2

表 2.3 支庁別の授精記録の平均報告率

初産分娩年	支庁	未経産		初産	
		牛群数	平均 [%]	牛群数	平均 [%]
1990 - 1994	石狩	219	19.2	210	66.9
	空知	123	16.4	117	76.3
	上川	457	16.9	448	88.8
	後志	139	27.1	137	89.2
	檜山	130	14.5	126	81.4
	渡島	203	24.4	189	90.7
	胆振	194	40.6	188	87.2
	日高	149	34.9	142	82.9
	十勝	1,832	18.8	1,764	87.2
	釧路	988	27.6	949	73.7
	根室	1,123	33.9	1,081	94.3
	網走	1,446	36.3	1,401	85.9
	宗谷	628	23.5	607	82.2
	留萌	270	34.7	261	86.3
1995 - 1999	石狩	162	18.5	157	77.2
	空知	95	15.2	93	78.4
	上川	367	14.5	361	89.1
	後志	108	27.4	106	93.8
	檜山	93	12.6	92	84.4
	渡島	157	20.7	155	92.1
	胆振	141	45.7	137	94.8
	日高	131	41.4	128	86.5
	十勝	1,477	30.1	1,459	92.8
	釧路	759	36.2	741	90.5
	根室	979	51.5	963	96.0
	網走	1,176	33.7	1,162	89.5
	宗谷	464	28.1	456	84.7
	留萌	249	39.8	247	89.7
2000 - 2003	石狩	119	18.0	117	91.3
	空知	82	17.8	80	85.3
	上川	289	13.2	276	91.3
	後志	89	30.4	87	96.1
	檜山	75	13.5	70	83.9
	渡島	137	22.9	130	94.9
	胆振	119	51.4	119	96.7
	日高	123	44.1	117	89.7
	十勝	1,291	37.2	1,265	94.9
	釧路	616	45.7	601	95.9
	根室	925	58.0	880	96.3
	網走	1,001	41.2	982	93.8
	宗谷	432	35.7	409	89.9
	留萌	229	38.2	228	93.3

区分別要約統計量

分娩年別の未経産牛（初産分娩年毎に区分）、初産牛ならびに 2 産牛繁殖形質の平均および最頻値を表 2.4 から表 2.6 に、牛群レベルおよび牛群規模別の未経産牛、初産牛ならびに 2 産牛繁殖形質の平均および最頻値を表 2.7 から表 2.9 に、支庁別の未経産牛、初産牛ならびに 2 産牛繁殖形質の平均および最頻値を表 2.10 から表 2.12 に、分娩月別の未経産牛（初産分娩月ごとに区分）、初産牛ならびに 2 産牛繁殖形質の平均および最頻値を表 2.13 から表 2.15 に示した。

表 2.4 から表 2.6 を見ると、一貫して最頻値は平均値よりも低い値となっており、右すその長い分布形状を裏付けている。AFS および AC は平均値、最頻値とも減少傾向にあり、早期の性成熟あるいは意図的な授精の早期化を反映している。一方、DO および DFS の最頻値に大きな変化はみられないものの、CR、DFS および DO の平均値は悪化傾向にある。つまり、授精開始時期に大きな変化はないものの、極端に授精および受胎の遅れる個体の割合が増加していることになる。CR の減少は未経産牛、経産牛とも 10% 程度であるが、未経産牛 CR の低下には AFS の早期化も関連していると考えられ、遺伝その他の要因による減退度合は経産牛においてより高いと思われる。また、平均値の悪化の度合は 2000 年以降に比べ 1990 年代において高く、中でも 2000 年以降の初産 DFS はよい傾向に転じている。こうした傾向は、家畜改良事業団（2008）における全国の統計においても示されている。繁殖能力の減退要因について、対立的な遺伝相関に起因する相関反応、高泌乳化に伴う泌乳初期のエネルギー不足、繁殖性より生産量を重視した飼養管理などが指摘されている（Nebel と McGilliard 1993; Lucy 2001; Pryce ら 2004）。ただし、繁殖形質と生産形質間の表型相関は遺伝相関ほど強くないという報告も多く（Dematawewa と Berger 1998; Muir ら 2004; 阿部ら 2008）、飼養環境によって遺伝的な減退が埋め合わされている牛群も多いことになる。したがって、特に 1990 年代において、生産形質の改良に対して飼養管理の改善が追いつかず、各個体の能力に見合った管理がなされていなかった可能性がある。飼養管理は 2000 年以降になって改善されてきたとも考えられるが、全形質の平均値がよい傾向に転じているわけではなく、繁殖能力の向上策は依然として必要であろう。

表 2.7 から表 2.9 を見ると、高泌乳牛群は AFS, AC においてすぐれ、DO, DFS および CR において劣っている。また、大規模牛群は DO, DFS においてすぐれ、CR において劣っている。Nebel と McGilliard (1993) では、高泌乳牛群における繁殖成績が低泌乳牛群に比してすぐれているという研究結果が複数挙げられており、de Vries と Risco (2005) においては大規模牛群において受胎に要する日数および DFS が短くなったと示されている。さらに日本全国のデータを分析した Atagi と Hagiya (2005) は、大牛群において平均 DO が短いと報告している。一方、Bagnato と Oltenacu (1994) は、イタリアにおいて牛群レベルの高いほど、また牛群規模の大きいほど、繁殖成績が低下すると報告している。データの収集期間も考慮すると、本章の結果は de Vries と Risco (2005) の結果を概ね支持している。繁殖形質のうち、CR のみが小規模牛群において高く算出されているが、小規模牛群では授精記録の報告率がやや低く (表 2.2)、小規模牛群における実際の CR はより低いかもしれない。以上より、繁殖管理に対する意識は大規模牛群においてより高いと思われる。ただし、すべての小規模牛群において授精記録の報告率が低いわけではなく、DO の延長をある程度許容しつつ少ない授精回数で確実に受胎させる方針を選択しているような牛群も存在するかもしれない。今回の結果のみで酪農現場の考え方を汲み取ることは困難である。

表 2.10 から表 2.12 を見ると、支庁を問わず AC および AFS は早期化、DO および DFS は延長、CR は低下傾向にある。AFS および AC の範囲は近年で 1 ヶ月程度、DO あるいは DFS の範囲は 10 日程度、CR の範囲は 10% 前後と、支庁ごとの繁殖管理に差異のあることがわかる。また、DO あるいは DFS の短い支庁において必ずしも CR が高いというわけではなく、例えば根室支庁の統計からは、DFS を短くすることで、CR が低下しても (授精回数が増えても) DO を短くするという方針が見て取れる。こうした支庁間の統計量の差異を考えると、繁殖管理についてより地域あるいは農協間の連携を強めていくことで、飼養管理面からの繁殖成績の向上を図れるかもしれない。

表 2.13 を見ると、AC および AFS は 5 月から 7 月分娩個体で早期化する傾向にあり、11 月から 2 月の分娩で遅くなる傾向にある。一方、CR は AC および AFS の早期化する時期に低く、AC および AFS の遅い時期に高くなっている。5 月から 7 月に分娩した個体の授精

は分娩前年の7月から9月と暑熱期にあり、暑熱ストレスによるCRの低下の可能性が示唆される。しかし、この時期の授精によって受胎に成功すれば、初産分娩を夏に迎えることができ、初産後の授精開始時期を秋から冬とすることができる。したがって、初産後の授精開始時期の調整を意図し、あえて暑熱期の授精を行なっているのかもしれない。また、個体の誕生季節の差異による飼料の違いが未經産牛の成長に影響を与えている可能性もあり、体格の成長と生殖器官の成長度合に季節間差異が生じたために、AFSに季節変動が認められたかもしれない。

表2.14および表2.15を見ると、初産、2産を問わず、いずれの形質も3月から5月分娩で悪く、7月から9月分娩で良好である。3月から5月に分娩を迎える個体の授精開始時期は6月から8月の暑熱期となり、暑熱ストレスによる繁殖能力の低下傾向が示される。Oseniら(2003)は、春分娩個体および暑熱地域においてDOが長いことを報告し、de VriesとRisco(2005)は春分娩個体におけるDFSの延長を報告している。ただしOseniら(2003)は、暑熱期を避けた授精を行なう生産者の増加を指摘しており、わが国におけるDFSおよびDOの延長に、人為的な要因もかかわっているかもしれない。またHuang(2008)は、暑熱期に入る前の5月の授精におけるCRの低下を報告しており、季節変動に対する暑熱ストレス以外の要因の存在を示唆している。本章の結果は概ね上記の報告を支持するものであるが、より正確な暑熱ストレスによる繁殖能力の減退の評価のためには、気候の異なる全国の記録を用いる必要があるだろう。

表 2.4 初産分娩年別の未經産牛繁殖形質¹の平均および最頻値²

初産分娩年	記録数	AC		AFS		CR
		平均	最頻値	平均	最頻値	平均 [%]
1990 – 1994	92,363	553.1	505	533.6	495	76.2
1995 – 1999	114,882	550.3	485	523.9	485	69.1
2000 – 2003	105,216	533.6	475	501.7	455	63.5

¹ AC: 受胎日齢, AFS: 初回授精日齢, CR: 初回授精受胎率

² 階級幅を10日としたときの階級値

表 2.5 初産分娩年別の初産牛繁殖形質¹の平均および最頻値²

初産分娩年	記録数	DO		DFS		CR
		平均	最頻値	平均	最頻値	平均
1990 – 1994	213,943	116.4	67.5	81.9	67.5	57.1
1995 – 1999	222,346	128.1	72.5	84.8	62.5	49.8
2000 – 2003	178,993	129.9	67.5	83.5	67.5	47.4

¹DO: 空胎日数, DFS: 初回授精日数, CR: 初回授精受胎率

² 階級幅を 5 日としたときの階級値

表 2.6 2 産分娩年別の 2 産牛繁殖形質¹の平均および最頻値²

2 産分娩年	記録数	DO		DFS		CR
		平均	最頻値	平均	最頻値	平均
1990 – 1994	164,090	116.0	72.5	81.2	72.5	56.4
1995 – 1999	174,264	128.7	77.5	83.9	62.5	48.8
2000 – 2003	141,297	134.2	77.5	84.3	62.5	45.0

¹DO: 空胎日数, DFS: 初回授精日数, CR: 初回授精受胎率

² 階級幅を 5 日としたときの階級値

表 2.7 牛群レベルおよび牛群規模別の未經産牛繁殖形質¹の平均および最頻値²

初産分晩年	牛群 レベル	牛群 規模	記録数	AC		AFS		CR
				平均	最頻値	平均	最頻値	平均
1990 – 1994	低	小	7,384	558.2	505	540.3	505	78.0
	低	中	11,537	564.9	505	544.6	485	76.0
	低	大	10,846	568.9	525	547.6	525	73.6
	中	小	7,150	543.4	505	526.1	505	78.6
	中	中	13,823	550.8	505	532.0	485	76.9
	中	大	15,867	556.1	515	535.9	495	75.4
	高	小	4,591	545.4	495	526.0	505	76.8
	高	中	9,209	542.1	495	522.8	495	76.1
	高	大	11,956	540.1	485	520.9	485	76.0
1995 – 1999	低	小	5,058	563.4	485	539.8	465	73.3
	低	中	12,795	569.0	505	542.7	485	69.9
	低	大	20,000	567.4	505	539.3	495	67.0
	中	小	4,638	554.0	485	529.2	485	72.7
	中	中	12,296	549.3	495	523.6	485	70.7
	中	大	26,662	547.5	495	519.9	495	67.2
	高	小	2,810	545.7	505	522.5	485	74.0
	高	中	8,276	540.8	495	515.9	485	71.4
	高	大	22,347	528.5	485	502.8	465	68.8
2000 – 2003	低	小	4,218	546.8	485	516.7	455	66.8
	低	中	10,091	553.6	515	519.1	455	63.1
	低	大	19,850	549.0	505	515.4	455	61.6
	中	小	3,278	537.8	475	507.0	475	64.6
	中	中	9,602	535.7	485	504.5	455	65.6
	中	大	27,124	529.0	475	496.9	455	62.8
	高	小	2,427	530.6	455	500.5	475	65.8
	高	中	6,818	530.4	475	498.2	475	64.3
	高	大	21,808	513.3	465	483.3	455	64.1

¹ AC: 受胎日齢, AFS: 初回授精日齢, CR: 初回授精受胎率

² 階級幅を 10 日としたときの階級値

表 2.8 牛群レベルおよび牛群規模別の初産牛繁殖形質¹の平均および最頻値²

初産分娩年	牛群 レベル	牛群 規模	記録数	DO		DFS		CR
				平均	最頻値	平均	最頻値	平均
1990 – 1994	低	小	16,090	115.0	67.5	83.4	67.5	60.9
	低	中	24,006	114.5	67.5	80.8	62.5	58.1
	低	大	24,109	114.1	67.5	79.8	67.5	56.8
	中	小	16,370	118.4	72.5	84.7	67.5	58.6
	中	中	31,877	116.2	72.5	81.9	62.5	57.7
	中	大	38,784	115.5	67.5	80.6	67.5	55.9
	高	小	10,412	122.3	72.5	85.8	72.5	56.7
	高	中	21,691	118.6	67.5	83.1	67.5	55.8
	高	大	30,604	117.0	67.5	81.7	67.5	55.3
1995 – 1999	低	小	10,461	126.0	72.5	86.4	72.5	54.6
	低	中	22,794	126.3	72.5	84.4	62.5	51.1
	低	大	34,281	124.5	67.5	82.2	62.5	50.1
	中	小	9,922	133.7	77.5	90.1	72.5	51.5
	中	中	24,276	129.6	67.5	86.3	67.5	49.8
	中	大	52,779	126.6	72.5	83.3	62.5	49.6
	高	小	6,314	137.0	87.5	91.5	72.5	49.6
	高	中	16,582	133.3	82.5	87.7	67.5	48.2
	高	大	44,937	128.7	72.5	84.3	62.5	48.3
2000 – 2003	低	小	7,599	130.2	67.5	86.3	67.5	50.5
	低	中	16,074	129.5	72.5	84.0	62.5	48.2
	低	大	29,284	126.8	67.5	81.3	57.5	47.9
	中	小	5,946	133.8	82.5	87.0	67.5	47.5
	中	中	16,355	133.6	77.5	86.2	67.5	47.0
	中	大	48,292	127.7	67.5	81.8	67.5	47.9
	高	小	4,286	141.5	77.5	90.6	77.5	45.8
	高	中	11,605	136.0	77.5	87.7	67.5	46.2
	高	大	39,552	130.0	72.5	83.0	67.5	46.3

¹DO: 空胎日数, DFS: 初回授精日数, CR: 初回授精受胎率

²階級幅を 5 日としたときの階級値

表 2.9 牛群レベルおよび牛群規模別の 2 産牛繁殖形質¹ の平均および最頻値²

2 産分娩年	牛群 レベル	牛群 規模	記録数	DO		DFS		CR
				平均	最頻値	平均	最頻値	平均
1990 – 1994	低	小	13,143	118.1	72.5	84.0	72.5	59.2
	低	中	19,081	115.3	72.5	80.0	57.5	56.6
	低	大	18,561	113.2	77.5	78.9	57.5	56.4
	中	小	12,877	118.5	77.5	84.1	67.5	57.8
	中	中	24,663	116.0	72.5	81.5	72.5	56.8
	中	大	28,328	114.6	72.5	79.9	62.5	55.7
	高	小	8,380	119.3	72.5	84.5	72.5	57.1
	高	中	16,734	117.0	77.5	82.0	72.5	56.0
	高	大	22,323	116.3	77.5	80.6	62.5	54.1
1995 – 1999	低	小	8,783	131.1	77.5	87.9	72.5	51.7
	低	中	18,847	128.6	77.5	83.8	67.5	49.7
	低	大	27,527	125.7	77.5	81.3	62.5	48.9
	中	小	7,893	135.3	77.5	90.0	72.5	50.3
	中	中	19,269	129.4	77.5	84.7	67.5	49.1
	中	大	40,166	127.3	77.5	82.7	62.5	48.3
	高	小	5,283	133.9	77.5	88.5	77.5	50.1
	高	中	13,092	131.7	77.5	85.6	67.5	48.2
	高	大	33,404	128.6	77.5	83.4	62.5	47.4
2000 – 2003	低	小	6,245	137.6	77.5	87.9	72.5	47.3
	低	中	13,398	134.9	77.5	84.4	67.5	45.4
	低	大	23,441	131.9	77.5	82.0	62.5	45.0
	中	小	4,961	140.0	112.5	88.9	77.5	46.1
	中	中	12,992	137.5	77.5	86.7	67.5	45.0
	中	大	37,169	132.5	77.5	83.0	62.5	44.6
	高	小	3,407	141.9	77.5	89.6	77.5	46.1
	高	中	9,350	136.4	77.5	86.6	67.5	45.6
	高	大	30,334	133.2	77.5	83.6	62.5	44.4

¹ DO: 空胎日数, DFS: 初回授精日数, CR: 初回授精受胎率

² 階級幅を 5 日としたときの階級値

表 2.10 支庁別の未経産牛繁殖形質¹の平均および最頻値²

初産分娩年	支庁	記録数	AC		AFS		CR
			平均	最頻値	平均	最頻値	平均
1990 – 1994	石狩	1,607	534.2	485	520.8	485	84.2
	空知	748	550.2	525	534.4	505	80.3
	上川	3,187	556.3	475	539.4	475	79.2
	後志	1,340	538.4	495	514.5	485	74.6
	檜山	431	531.4	475	518.3	475	83.8
	渡島	1,939	539.0	485	522.5	485	79.7
	胆振	2,629	557.8	505	538.1	505	78.1
	日高	1,753	531.2	495	517.6	495	81.8
	十勝	17,215	540.6	505	524.0	505	79.3
	釧路	11,498	558.9	515	541.4	505	79.5
	根室	19,797	570.3	515	548.1	515	71.2
	網走	19,222	546.2	495	525.9	485	75.9
	宗谷	6,164	559.5	485	539.8	485	75.4
	留萌	4,833	553.9	505	527.7	495	69.6
1995 – 1999	石狩	1,430	522.9	475	503.2	475	78.1
	空知	762	553.7	515	534.2	515	77.0
	上川	2,440	558.3	485	539.0	465	78.5
	後志	1,191	563.8	495	532.6	495	70.5
	檜山	326	536.8	475	518.4	475	81.0
	渡島	1,421	527.9	495	507.8	495	78.7
	胆振	2,727	559.9	495	535.0	475	73.8
	日高	2,213	530.0	465	509.9	465	78.0
	十勝	27,448	536.2	495	512.3	485	69.7
	釧路	14,545	564.0	495	538.7	485	71.3
	根室	29,849	562.2	495	531.0	485	63.3
	網走	18,825	542.9	465	519.3	465	73.3
	宗谷	6,187	548.1	485	520.9	455	69.1
	留萌	5,518	557.9	485	523.8	485	60.9
2000 – 2003	石狩	1,008	515.4	475	493.6	475	74.9
	空知	732	558.2	485	523.4	465	64.2
	上川	1,743	548.2	455	521.2	475	72.2
	後志	871	541.9	465	504.5	465	61.1
	檜山	201	521.6	475	500.8	475	80.1
	渡島	1,144	525.8	445	499.2	445	65.3
	胆振	2,300	539.5	495	509.1	465	66.2
	日高	1,945	500.8	495	477.4	445	72.3
	十勝	25,247	528.2	475	497.2	475	62.2
	釧路	14,229	546.6	465	516.1	465	64.9
	根室	28,420	537.7	455	502.4	455	60.4
	網走	16,788	522.0	455	493.3	455	68.4
	宗谷	6,307	529.4	455	495.9	455	62.4
	留萌	4,281	553.4	495	513.8	455	57.9

¹AC: 受胎日齢, AFS: 初回授精日齢, CR: 初回授精受胎率

² 階級幅を 10 日としたときの階級値

表 2.11 支庁別の初産牛繁殖形質¹の平均および最頻値²

初産分娩年	支庁	記録数	DO		DFS		CR
			平均	最頻値	平均	最頻値	平均
1990 - 1994	石狩	4,459	116.2	77.5	87.0	67.5	64.4
	空知	2,458	117.1	72.5	85.6	72.5	61.6
	上川	11,749	117.4	67.5	82.4	62.5	56.7
	後志	3,005	120.2	72.5	83.3	72.5	55.7
	檜山	1,851	118.5	67.5	83.9	67.5	58.7
	渡島	4,882	115.6	72.5	84.0	67.5	60.4
	胆振	4,270	120.1	72.5	86.2	72.5	59.4
	日高	3,178	113.9	67.5	88.5	77.5	68.1
	十勝	59,359	117.2	67.5	82.0	67.5	55.8
	釧路	22,460	114.9	67.5	82.0	67.5	60.4
	根室	37,784	115.7	72.5	79.1	62.5	53.6
	網走	34,639	115.6	72.5	84.0	67.5	60.6
	宗谷	15,246	115.0	72.5	78.6	62.5	53.6
	留萌	8,603	119.3	67.5	79.6	62.5	52.5
1995 - 1999	石狩	4,615	129.7	82.5	92.6	72.5	59.1
	空知	2,422	131.0	82.5	91.2	77.5	56.1
	上川	10,227	129.7	77.5	88.3	67.5	52.2
	後志	2,602	134.0	87.5	88.6	67.5	50.6
	檜山	1,558	125.9	87.5	88.0	72.5	56.9
	渡島	4,498	127.2	87.5	87.6	72.5	53.4
	胆振	4,128	130.5	82.5	89.4	67.5	52.7
	日高	3,415	125.2	82.5	94.0	77.5	62.4
	十勝	63,961	130.3	67.5	85.3	62.5	47.6
	釧路	26,162	126.4	62.5	84.3	62.5	50.9
	根室	39,171	123.6	67.5	79.3	62.5	47.7
	網走	36,720	127.8	72.5	87.8	67.5	53.4
	宗谷	13,761	128.5	67.5	80.5	62.5	45.5
	留萌	9,106	132.8	72.5	82.1	62.5	44.4
2000 - 2003	石狩	3,562	128.1	77.5	88.0	67.5	55.6
	空知	2,094	131.0	77.5	82.9	67.5	48.2
	上川	7,504	136.4	92.5	89.2	67.5	48.9
	後志	1,771	135.0	67.5	84.1	67.5	45.3
	檜山	1,044	125.3	67.5	85.0	62.5	53.4
	渡島	3,292	131.4	72.5	82.7	67.5	45.1
	胆振	3,116	132.2	72.5	88.5	67.5	49.8
	日高	2,850	124.1	72.5	89.7	72.5	58.8
	十勝	49,700	132.2	67.5	84.6	67.5	46.3
	釧路	22,507	128.9	72.5	82.4	62.5	47.4
	根室	32,829	124.7	67.5	78.5	62.5	46.2
	網走	29,411	129.5	72.5	86.3	67.5	50.4
	宗谷	11,563	129.6	72.5	80.5	67.5	45.1
	留萌	7,750	137.1	87.5	83.1	62.5	42.6

¹DO: 空胎日数, DFS: 初回授精日数, CR: 初回授精受胎率² 階級幅を 5 日としたときの階級値

表 2.12 支庁別の 2 産牛繁殖形質¹ の平均および最頻値²

2 産分晩年	支庁	記録数	DO		DFS		CR
			平均	最頻値	平均	最頻値	平均
1990 - 1994	石狩	3,141	117.2	77.5	86.9	72.5	63.3
	空知	1,818	120.0	72.5	86.6	62.5	59.6
	上川	8,624	117.1	77.5	81.0	57.5	56.3
	後志	2,307	123.3	72.5	83.1	72.5	53.0
	檜山	1,484	118.1	72.5	84.2	62.5	57.6
	渡島	3,610	117.5	77.5	83.7	72.5	58.7
	胆振	3,298	119.4	77.5	85.6	67.5	59.6
	日高	2,462	113.7	72.5	90.2	72.5	68.6
	十勝	46,478	117.9	77.5	81.3	57.5	54.2
	釧路	17,623	112.5	72.5	80.2	52.5	60.1
	根室	28,510	114.8	72.5	78.9	67.5	53.8
	網走	26,680	115.5	72.5	83.8	72.5	59.5
	宗谷	11,586	113.4	77.5	77.5	57.5	53.9
	留萌	6,469	117.0	72.5	78.6	57.5	54.3
1995 - 1999	石狩	3,531	130.7	97.5	90.8	82.5	56.2
	空知	1,891	132.7	97.5	89.5	82.5	52.9
	上川	7,749	130.7	77.5	86.2	72.5	49.8
	後志	2,116	138.1	72.5	89.1	72.5	48.0
	檜山	1,323	133.8	77.5	87.4	62.5	47.4
	渡島	3,524	133.5	82.5	86.8	77.5	49.0
	胆振	3,315	132.9	77.5	89.1	77.5	52.6
	日高	2,607	124.5	82.5	94.7	72.5	63.0
	十勝	49,493	131.0	77.5	84.3	62.5	46.2
	釧路	20,719	125.7	77.5	83.0	57.5	51.3
	根室	31,348	125.0	77.5	79.2	62.5	46.8
	網走	28,380	127.7	72.5	87.2	67.5	52.9
	宗谷	10,968	128.0	67.5	79.8	62.5	45.5
	留萌	7,300	133.3	77.5	81.0	57.5	44.3
2000 - 2003	石狩	2,873	133.5	67.5	88.2	67.5	50.6
	空知	1,643	135.3	82.5	85.0	57.5	47.5
	上川	5,660	140.5	77.5	90.1	67.5	46.5
	後志	1,480	140.9	92.5	84.2	62.5	41.8
	檜山	891	134.4	77.5	86.0	77.5	48.1
	渡島	2,627	138.7	77.5	84.6	62.5	42.5
	胆振	2,428	135.7	77.5	88.4	77.5	47.0
	日高	2,325	130.1	77.5	92.4	77.5	56.1
	十勝	38,935	136.4	77.5	85.5	67.5	43.8
	釧路	17,889	131.4	77.5	83.3	57.5	46.2
	根室	26,485	130.4	77.5	79.6	57.5	43.3
	網走	22,861	133.0	77.5	86.5	67.5	48.2
	宗谷	9,190	133.2	77.5	80.4	62.5	42.4
	留萌	6,010	143.0	77.5	84.1	67.5	40.4

¹DO: 空胎日数, DFS: 初回授精日数, CR: 初回授精受胎率² 階級幅を 5 日としたときの階級値

表 2.13 初産分娩月別の未經産牛繁殖形質¹ の平均および最頻値²

初産分娩年	初産 分娩月	記録数	AC		AFS		CR
			平均	最頻値	平均	最頻値	平均
1990 – 1994	1	7,380	553.2	485	534.7	485	76.6
	2	7,054	549.7	505	532.8	485	78.7
	3	8,511	549.7	495	534.3	495	80.0
	4	9,074	548.0	485	531.6	485	77.1
	5	7,851	543.4	505	526.2	505	76.0
	6	7,188	548.1	505	527.1	505	72.8
	7	6,404	552.8	535	528.4	485	70.6
	8	7,268	552.3	495	530.6	495	77.1
	9	8,060	555.8	515	535.0	495	76.7
	10	7,701	560.8	515	539.7	525	76.2
	11	8,071	562.5	505	541.6	505	75.6
	12	7,801	560.8	505	540.1	505	75.3
1995 – 1999	1	8,749	558.6	525	532.7	505	70.4
	2	8,119	559.5	515	534.8	515	71.7
	3	10,957	555.0	495	531.7	455	73.0
	4	11,644	548.8	465	527.3	465	70.3
	5	10,280	541.2	495	517.2	485	67.4
	6	9,605	543.0	505	516.6	495	66.6
	7	8,909	548.8	475	516.5	465	62.8
	8	9,334	546.6	495	517.2	495	69.5
	9	10,191	549.9	515	522.1	485	70.8
	10	8,676	552.0	505	523.1	485	69.2
	11	9,378	552.3	515	525.3	485	69.1
	12	9,040	550.6	485	522.9	485	67.9
2000 – 2003	1	8,821	541.8	485	509.5	485	64.1
	2	8,092	540.3	465	510.1	465	65.8
	3	10,078	538.3	465	510.5	445	68.7
	4	10,741	533.0	455	507.1	455	65.2
	5	9,312	526.1	475	497.7	475	62.9
	6	9,755	523.4	455	492.8	455	61.3
	7	9,321	528.5	455	492.7	455	58.4
	8	9,019	529.4	475	493.4	455	62.7
	9	8,522	531.4	495	498.0	485	64.4
	10	7,027	535.1	505	499.8	465	61.4
	11	7,330	541.2	515	504.1	455	62.4
	12	7,198	539.2	495	504.7	495	64.2

¹ AC: 受胎日齡, AFS: 初回授精日齡, CR: 初回授精受胎率

² 階級幅を 10 日としたときの階級値

表 2.14 分娩月別の初産牛繁殖形質¹の平均および最頻値²

初産分娩年	分娩月	記録数	DO		DFS		CR
			平均	最頻値	平均	最頻値	平均
1990 - 1994	1	16,580	115.0	67.5	81.6	67.5	57.7
	2	15,673	117.4	67.5	82.5	67.5	57.2
	3	21,141	120.7	72.5	84.3	67.5	56.0
	4	21,833	120.8	72.5	84.3	67.5	56.0
	5	19,288	118.2	62.5	83.5	62.5	57.0
	6	17,771	115.9	72.5	82.5	62.5	56.9
	7	15,596	113.4	72.5	80.8	67.5	58.1
	8	16,781	110.0	67.5	78.1	62.5	59.7
	9	18,573	111.8	67.5	78.1	67.5	58.4
	10	16,491	115.7	62.5	80.6	62.5	56.7
	11	17,301	117.9	67.5	82.3	67.5	55.3
	12	16,915	117.3	67.5	82.8	67.5	56.4
1995 - 1999	1	16,917	129.5	72.5	85.4	67.5	50.4
	2	15,873	130.6	67.5	85.8	62.5	49.1
	3	22,110	134.1	82.5	88.1	67.5	48.4
	4	23,532	133.6	72.5	87.8	62.5	47.5
	5	20,642	129.6	67.5	86.5	62.5	49.0
	6	19,682	127.6	77.5	85.5	77.5	50.0
	7	17,631	123.4	72.5	83.0	67.5	51.6
	8	17,973	119.7	62.5	79.8	62.5	52.8
	9	19,352	121.8	72.5	80.4	67.5	51.8
	10	15,759	126.6	67.5	83.5	62.5	49.7
	11	16,674	128.7	67.5	85.0	67.5	49.0
	12	16,201	129.4	72.5	85.0	62.5	49.0
2000 - 2003	1	13,654	132.2	72.5	84.2	62.5	46.8
	2	12,541	134.1	87.5	84.3	62.5	45.1
	3	17,031	135.4	87.5	86.5	67.5	45.3
	4	17,858	134.3	72.5	86.6	72.5	45.9
	5	16,021	131.3	67.5	84.3	67.5	46.8
	6	16,157	128.0	67.5	83.3	67.5	48.2
	7	15,501	124.8	62.5	81.4	62.5	50.0
	8	15,477	122.8	67.5	78.9	62.5	49.4
	9	15,327	125.3	67.5	79.9	62.5	49.0
	10	12,825	128.7	67.5	83.0	67.5	48.3
	11	13,408	130.9	72.5	84.7	67.5	47.2
	12	13,193	131.3	77.5	84.8	67.5	47.2

¹DO: 空胎日数, DFS: 初回授精日数, CR: 初回授精受胎率

²階級幅を 5 日としたときの階級値

表 2.15 分娩月別の 2 産牛繁殖形質¹ の平均および最頻値²

2 産分娩年	分娩月	記録数	DO		DFS		CR
			平均	最頻値	平均	最頻値	平均
1990 - 1994	1	12,642	114.4	67.5	80.3	57.5	57.3
	2	11,691	117.0	72.5	81.3	72.5	56.7
	3	14,565	118.1	77.5	81.6	72.5	55.3
	4	15,048	119.2	72.5	82.4	67.5	55.5
	5	13,618	118.9	62.5	82.4	62.5	54.9
	6	13,725	119.6	77.5	83.9	67.5	54.3
	7	15,205	117.1	72.5	81.8	72.5	55.5
	8	15,049	111.8	77.5	79.5	57.5	58.3
	9	13,406	112.0	72.5	79.7	57.5	59.3
	10	12,474	114.5	72.5	80.6	52.5	56.9
	11	13,270	114.4	72.5	80.5	67.5	56.6
	12	13,397	115.0	77.5	80.8	67.5	56.4
1995 - 1999	1	13,467	126.4	77.5	83.4	67.5	50.7
	2	11,918	130.0	77.5	83.4	67.5	48.7
	3	15,248	132.7	77.5	85.1	67.5	47.4
	4	15,914	132.1	77.5	85.0	62.5	47.4
	5	14,815	134.2	67.5	86.2	62.5	45.6
	6	15,906	131.7	82.5	85.7	72.5	46.5
	7	17,493	127.7	72.5	84.2	62.5	49.0
	8	16,668	123.8	77.5	81.8	57.5	50.8
	9	14,323	125.3	77.5	82.0	62.5	50.0
	10	12,777	125.9	77.5	83.0	57.5	50.1
	11	12,716	127.4	77.5	83.5	72.5	49.6
	12	13,019	127.1	72.5	83.4	67.5	49.9
2000 - 2003	1	10,763	134.4	77.5	84.5	67.5	45.9
	2	9,421	136.5	77.5	84.3	67.5	43.6
	3	11,442	139.5	77.5	86.1	62.5	43.1
	4	12,150	136.1	77.5	84.9	67.5	44.2
	5	11,595	135.2	77.5	85.0	62.5	43.5
	6	12,857	134.1	77.5	84.8	72.5	44.3
	7	14,862	131.4	77.5	83.6	62.5	45.8
	8	14,210	130.4	77.5	82.7	67.5	46.9
	9	11,896	131.0	77.5	82.1	62.5	46.6
	10	10,480	133.8	72.5	83.8	57.5	45.2
	11	10,734	134.3	77.5	85.1	67.5	45.3
	12	10,887	136.1	72.5	85.0	67.5	44.9

¹DO: 空胎日数, DFS: 初回授精日数, CR: 初回授精受胎率

² 階級幅を 5 日としたときの階級値

最小 2 乗分析

各形質に対する R^2 値の範囲は, 0.018 (2 産 CR) から 0.071 (AFS) となり, いずれも低い値を示した。モデルに含めた要因以外の生理的, あるいは環境的な要因の存在が主因と思われるが, AC, AFS および日数形質については非正規的な分布形状, CR については 2 値応答に対する線形モデルの適用も一因と考えられる。また, 各個体の生理的状态を安価, 正確かつ迅速に把握できるような指標の開発も, より正確な繁殖形質の分析に有効であろう。

表 2.16 および表 2.17 に, それぞれ未経産および経産牛繁殖形質の最小 2 乗分析において含めた要因の平均平方の総和に対する各要因の平均平方の割合を百分率で示した。なお, 各効果の推定値については, 表 2.7 から表 2.16 に示した区分別要約統計量と同様の傾向を示したため, 省略する。

2 産 CR に対する牛群規模ならびに牛群レベルと牛群規模の相互作用, 2 産 DFS および 2 産 DO に対する牛群レベルと牛群規模の相互作用の効果を除き, すべての要因は高度に有意であった ($P < 0.001$)。特に寄与の大きかった要因は, AC, AFS および初産 CR に対する牛群レベルの効果, 初産 DO ならびに DFS, および 2 産 DO, DFS ならびに CR に対する分娩月齢の効果であった。未経産牛繁殖形質に対して, 特に牛群レベル, 牛群規模の寄与が大きくなった要因として, 低泌乳および小規模牛群における未経産牛授精記録の報告率の低さが挙げられる。また授精の報告はなされていても, Pryce ら (2004) の指摘するように, 最終授精の記録のみを報告するような牛群が存在すれば, AFS の計算結果は正確なものとはならず, 統計分析の結果の精度を減少させる要因となる。したがって, 繁殖管理に対する酪農現場での意識向上の一環として, 授精記録の重要性の認識を深めさせるべきである。

CR に対する各要因の寄与に着目すると, 未経産, 初産および 2 産とも, 各要因の寄与の割合はすべて異なっており, 特に初産と 2 産の間での牛群レベルおよび月齢の効果の寄与の割合は大きく異なっている。日数形質についても, 特に牛群レベルの効果が初産と 2 産とで異なっている。この結果は, 成長に伴う繁殖能力の変化も一因であるが, 特に繁殖能力の劣る個体において分娩月齢が伸びることによって, 産次の進行に伴い各分娩月齢クラスにおいて繁殖能力にすぐれた個体と劣る個体が明確に分かれたことが主たる要因であると考えられる。

本章では、北海道のホルスタイン種における授精記録の収集度合について概括し、授精記録から計算可能な繁殖形質に関する要約統計量の計算および最小 2 乗分析について示した。特に未経産牛の授精記録の集積度合は高いとはいえず、今後の授精記録の集積率の向上が待たれる。

表 2.16 未経産牛繁殖形質¹の最小 2 乗分析において含めた要因²の平均平方の総和に対する各要因の平均平方の割合 [%]

要因	AC	AFS	CR
<i>L</i>	72.6	73.7	11.3
<i>S</i>	18.2	19.9	20.8
<i>L</i> × <i>S</i>	5.4	3.7	9.2
<i>RFY</i>	1.6	1.2	23.0
<i>FYM</i>	2.2	1.5	13.8
<i>FA</i>	—	—	21.9

¹AC: 受胎日齢, AFS: 初回授精日齢, CR: 初回授精受胎率

²*L*, *S*, *L* × *S*, *RFY*, *FYM*, *FA*: それぞれ牛群レベル, 牛群規模, 牛群レベルと牛群規模の相互作用, 支庁-初回授精年, 初回授精年月, 初回授精月齢クラスの母数効果

表 2.17 経産牛繁殖形質¹の最小 2 乗分析において含めた要因²の平均平方の総和に対する各要因の平均平方の割合 [%]

要因	初産			2 産		
	DO	DFS	CR	DO	DFS	CR
<i>L</i>	23.1	5.6	79.7	3.3	0.9	27.7
<i>S</i>	17.4	31.3	2.6	8.7	19.3	1.3
<i>L</i> × <i>S</i>	1.9	1.2	3.7	0.0	0.1	0.8
<i>RCY</i>	0.4	1.8	5.3	0.3	1.2	5.2
<i>CYM</i>	1.2	1.7	1.6	0.6	0.5	2.6
<i>CA</i>	56.0	58.4	7.1	87.0	78.0	62.4

¹DO: 空胎日数, DFS: 初回授精日数, CR: 初回授精受胎率

²*L*, *S*, *L* × *S*, *RCY*, *CYM*, *CA*: それぞれ牛群レベル, 牛群規模, 牛群レベルと牛群規模の相互作用, 支庁-分娩年, 分娩年月, 分娩月齢クラスの母数効果

第 3 章

北海道のホルスタイン種における未経産ならびに経産牛繁殖形質と生産形質の遺伝および表型的関連

3.1 緒言

第 1 章および第 2 章においても触れたように、繁殖形質の改良に対する世界的な興味の高まりから、繁殖形質に対する遺伝評価値の公表、繁殖形質の総合形質への組み込みを行なっている国が増加してきており、インターブルも繁殖形質の国際種雄牛評価を公表している (Interbull 2008)。

遺伝評価値および総合指数を検討するには、繁殖形質の遺伝的パラメータの推定、および他の経済形質との関連の調査が必要となる。種々の研究において、繁殖形質の低遺伝率、および生産形質との間の遺伝的な対立関係が指摘されている (Dematawewa と Berger 1998; Haile-Mariam ら 2003; Kadarmideen ら 2003; 阿部ら 2008)。遺伝率の低いことから、生産形質に対する選抜による相関反応は小さいと期待されるものの、遺伝的な繁殖能力の低下は避けられない。一方、未経産牛の繁殖形質については、報告数こそ少ないものの、生産形質との間で望ましい遺伝相関を示した研究もある (Hansen ら 1983; Muir ら 2004; Andersen-Ranberg ら 2005)。

また、経産牛繁殖形質における産次間の関係を示した報告は少なく (Haile-Mariam ら 2003)、未経産牛繁殖形質と経産牛繁殖形質間の関連の調査例も多くない (Andersen-Ranberg ら 2005; Jamrozik ら 2005; Kuhn ら 2006)。

本章の目的は、わが国のホルスタイン種における、繁殖形質に対する遺伝的パラメータの推定、異なる産次の繁殖形質間の遺伝ならびに表型的関連、および繁殖形質と生産形質間の遺伝ならびに表型的関連の調査である。

3.2 材料および方法

データは、(社) 北海道酪農検定検査協会に集積された、1990 年から 2003 年に分娩した個体の繁殖記録ならびに乳期記録、および (社) 日本ホルスタイン登録協会北海道支局に集積された血統記録である。

繁殖記録より、未經産牛繁殖形質として受胎日齢 (AC)、初回授精日齢 (AFS) および初回授精受胎率 (CR) を算出し、さらに経産牛繁殖形質として初産および 2 産の空胎日数 (DO)、初回授精日数 (DFS) および CR を算出した。各形質の算出方法は第 2 章と同一である。

生産形質として、乳期記録より初産および 2 産の 305 日乳量、乳脂量、乳タンパク質量を抽出した。搾乳日数が 305 日以上の子の記録については 305 日までの合計生産量を、240 日以上 305 日未満の子の記録については乳期終了までの合計生産量を、305 日生産量と定義した。

全記録の抽出後、2 回搾乳でない記録、初産分娩日の不明な記録、移動歴のある個体の全記録、流産ならびに供卵のある子の記録、父の不明な記録、生年月日とその母の分娩年月日の一致しない記録、DO が分娩間隔と 280 日の差から 2 週間以上前後する記録、子ならびに形質ごとに生産形質の平均 ± 3 標準偏差単位に入らない記録、分娩月齢が初産に対し 20 ヶ月から 43 ヶ月、2 産に対し 32 ヶ月から 59 ヶ月の範囲に入らない記録を削除した。また、AFS、DFS、DO ならびに授精回数がそれぞれ 321 日から 1082 日、21 日から 200 日、21 日から 410 日ならびに 1 回から 10 回の範囲内の記録のみを用いた。さらに、牛群-年次グループ内の個体数が 2 に満たない記録を削除した。2 産記録については、当該個体の初産記録が編集済み記録内に存在する場合のみ、用いることとした。

以上の編集により、未經産牛形質、初産繁殖形質、初産生産形質、2 産繁殖形質および 2 産生産形質に対しそれぞれ 308,238 記録、626,899 記録、710,980 記録、490,265 記録および 578,921 記録を得た。それぞれ、未編集記録の 62.7%、65.5%、65.8%、64.5% および 65.3% 程度であった。このデータセットを元に、単形質分析、繁殖形質同士の 2 形質分析、および繁殖形質と生産形質の 2 形質分析を実行した。計算時間の制約上、すべての初産および 2 産記録を分析に含めることは困難であったため、牛群番号を無作為に抽出し、その牛群に含まれる記録をすべて抽出するという操作を繰り返し、単形質分析で 40 万記録程度、2 形質分析で 20 万記録程度のサブセットを生成し、分析に供した。また、記録を持つ個体から最大 3 世代さかのぼって得た血統記録を用いた。各サブセット内の血縁個体数は、記録を持つ個体も含め単形質分析で 669,022 から 764,534 の範囲、2 形質分析で 370,138 から 442,702 の範囲で

あった。

CR には閾値アニマルモデルを適用し、それ以外の形質には線形アニマルモデルを適用した。AC および AFS に適用したモデルを以下に示した。

$$y_{ijk} = hf y_i + FYM_j + a_k + e_{ijk}$$

ここで、 y_{ijk} は観察値、 $hf y_i$ は牛群-初回授精年の変量効果、 FYM_j は初回授精年月の母数効果、 a_k は相加的遺伝子効果、 e_{ijk} は残差効果である。

未経産牛 CR に対し適用したモデルを以下に示した。

$$y_{ijkl} = hf y_i + FYM_j + FA_k + a_l + e_{ijkl}$$

ここで、 $hf y_i$ 、 FYM_j 、 a_l 、 e_{ijkl} は上記モデルと同様であって、 y_{ijkl} は観察不可能な CR に対する潜在値 (liability)、 FA_k は初回授精月齢クラスの母数効果である。初回授精月齢クラスは、14 ヶ月未満、15 ヶ月、16 ヶ月、17 ヶ月、18 ヶ月、19 ヶ月以上の 6 カテゴリーとした。

生産形質および経産牛繁殖形質に適用したモデルを以下に示した。

$$y_{ijkl} = hy_i + CYM_j + CA_k + a_l + e_{ijkl}$$

ここで、 y_{ijkl} は観察値 (CR 以外) または潜在値 (CR のみ)、 hy_i は牛群-分娩年の変量効果、 CYM_j は分娩年月の母数効果、 CA_k は分娩月齢クラスの母数効果、 a_l は相加的遺伝子効果、 e_{ijkl} は残差効果である。

初産形質に対する分娩月齢クラスについては 20 ヶ月齢から 43 ヶ月齢の間で 4 ヶ月ずつ区切った 6 カテゴリーとし、2 産形質に対する分娩月齢クラスについては 32 ヶ月齢から 59 ヶ月齢の間で 4 ヶ月ずつ区切った 7 カテゴリーとした。

同一産次内の 2 形質分析では、両方の観察値がそろっている記録のみ用いた。異なる産次間の 2 形質分析では、後の産次にのみ欠測を許容した。行列表記では、2 形質モデルを以下のように表せる：

$$y = Xb + Z_1 hy + Z_2 a + e$$

ここで、 y は観察値または潜在値のベクトル、 b は母数効果のベクトル、 hy は管理グループ効果のベクトル、 a は相加的遺伝子効果のベクトル、 e は残差のベクトル、また X 、 Z_1 およ

び Z_2 は計画行列である。変量効果に対し、以下の共分散構造を仮定した:

$$hy \sim N(0, H_0 \otimes I)$$

$$a \sim N(0, G_0 \otimes A)$$

$$e \sim N(0, R_0 \otimes I)$$

ただし,

$$H_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{hy1}^2 & \sigma_{hy1hy2} \\ \sigma_{hy1hy2} & \sigma_{hy2}^2 \end{bmatrix}$$

$$G_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{a1}^2 & \sigma_{a1a2} \\ \sigma_{a1a2} & \sigma_{a2}^2 \end{bmatrix}$$

$$R_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{e1}^2 & \sigma_{e1e2} \\ \sigma_{e1e2} & \sigma_{e2}^2 \end{bmatrix}$$

であって、それぞれ管理グループ効果、相加的遺伝子効果および残差の共分散行列である。また A は分子血縁係数行列、 I は単位行列、 \otimes はクロネッカー積の演算子である。また、産次間分析に際しては σ_{hy1hy2} をゼロと設定し、閾値モデルを適用した形質に対しては潜在尺度における残差分散を 1 と設定した。さらに、管理グループ効果と相加的遺伝子効果については、互いに独立と仮定した。

遺伝的パラメータの推定には、閾値モデルを含む多形質モデルに対する Gibbs sampling の可能な THRGIBBS1F90 プログラム (Tsuruta と Misztal 2006) を使用した。母数効果に対しては一様分布を、変量効果に対しては形状パラメータを 0 とする逆ウィッシュアート分布を、それぞれ事前分布とした。長さ 200,000 の Gibbs chain を生成し、最初の 50,000 サンプルを burn-in として破棄した。サンプルの保存間隔を 50 とし、得られた 3,000 サンプルの事後平均を最終的な推定値とした。

3.3 結果および考察

要約統計量

表 3.1 および表 3.2 に、それぞれ未経産牛形質および経産牛形質に対する要約統計量を示した。ただし初産および 2 産形質に対しては、サブセットの要約統計量を示している。未経産 CR の平均は、初産および 2 産 CR に比べ高い値となっており、この要因として泌乳の影響のない点、および経産牛記録に比した未経産牛記録の記録精度の低さ（例：最終授精のみが記録されている）が挙げられる。

表 3.3 に、繁殖形質の分娩年別の要約統計量を示した。CR は減少傾向、DO および DFS は増加傾向にあり、いずれも繁殖能力の減退傾向を示している。一方で、AFS および AC は減少しており、早期の性成熟あるいは意図的な授精の早期化を示している。

図 3.1 に、初産 CR の単形質分析にて使用したサブセットに対する牛群-年次グループ内記録数のヒストグラムを示した。大部分の牛群サイズは小規模であり、Oikawa と Sato (1997) に示されたように、線形モデルを適用した形質の分析においても管理グループ効果を変量効果として扱うべきである。

遺伝率

単形質分析による、繁殖形質の遺伝的パラメータ推定値を表 3.4 に示した。CR の遺伝率は 0.1 を下回り、特に未経産牛 CR の遺伝率は、経産牛 CR の遺伝率に比べ低い。この結果は、Jamrozik ら (2005) によるノンリターン率に関する報告に一致している。AC の遺伝率は 0.120 と推定され、Hansen ら (1983) より若干低い値であった。AFS の遺伝率は 0.128 と推定され、Jamrozik ら (2005) の推定値 (0.13) に近く、Hansen ら (1983) の推定値より若干高かった。AC および AFS の遺伝率は、繁殖形質の中ではもっとも高い値である。ただし、未経産牛繁殖記録の集積度合は現状で初産牛の 4 から 5 割程度であること、これらの形質に早熟性との関連が強く存在すると予想される点から、現状で選抜対象形質に含めることは困難と推察される。

DO の遺伝率は 0.09 程度と推定され、過去の報告 (Dematawewa と Berger 1998; Kadarmideen ら 2003; Atagi と Hagiya 2005; 阿部ら 2008) に比べわずかに高い。DFS の

遺伝率は、上記文献に比べわずかに高く、Jamrozik ら (2005) に近い値となっている。前者は管理グループ効果を母数効果として含め、Jamrozik ら (2005) および本章では変量効果として含めている。わが国では小規模な牛群が多く、閾値モデルの使用時の extreme category problem (Harville と Mee 1984) への対処も考慮すると、管理グループ効果は変量効果として含めるべきである。

遺伝率および計算時間から判断すると、日数形質、特に DFS は CR に比べ繁殖形質の改良に有効であるかもしれない。本章では次の産次の分娩の確認された記録のみを分析に用いているが、DFS の計算には妊娠確認は必要なく、より多くの個体を評価可能である。この点からも、選抜対象形質としての DFS の有効性が高まる。しかし、いずれの形質の遺伝率も生産形質ほど高くはなく、信頼度の高い育種価を得ることは困難と予想される。したがって改良速度は高くないものの、選抜対象形質の一つとして総合指数に含めることで、遺伝的減退は抑制される。

繁殖形質間の関連

2 形質分析による、繁殖形質間の遺伝および表型相関推定値を表 3.5 に示した。未経産牛繁殖形質間の遺伝相関に着目すると、AC は AFS および CR と遺伝的にも表型的にも強く関連している。一方で、CR と AFS 間の遺伝および表型相関はそれぞれ -0.11 および 0.05 と低い。この結果から、授精適期の判断をより適切に行なうことで、受胎率を低下させることのない、未経産牛の初回授精の早期化を達成できるかもしれない。

初産 DO, DFS および CR 間の遺伝相関、2 産 DO, DFS および CR 間の遺伝相関は概して高く、DFS と CR 間で絶対値において他に比べ低い値 (初産で -0.42 , 2 産で -0.25) が推定されている。表型相関についても同様な傾向がうかがえ、遺伝ならびに表型相関はいずれも、Kadarmideen ら (2003) の結果に近い値となっている。DO が「発情回帰能力と受胎能力」を表す一方で、DFS が「発情回帰能力」を、CR が「受胎能力」を表すことを、上記の結果は裏付けている。したがって、経産牛繁殖形質を評価する場合、DFS 単独よりも、CR ならびに DFS の両方を評価対象とすべきである。

未経産 CR と初産 CR 間の遺伝相関は 0.74 、未経産 CR と 2 産 CR 間の遺伝相関は 0.69

と、初産 CR および 2 産 CR 間の遺伝相関 (0.97) より低い値となっている。AC ならびに AFS と経産牛繁殖形質間の遺伝相関は -0.27 から 0.24 の範囲にあり、CR ほどの高い関連性はみられない。未經産牛繁殖形質に泌乳の影響しない点は、こうした差異の一因であろう。Andersen-Ranberg ら (2005) は、未經産牛のノンリターン率と初産牛のノンリターン率間で 0.54 の遺伝相関、未經産牛のノンリターン率と DFS の間に 0.24 の遺伝相関を報告している。Hansen ら (1983) は、AFS と DFS 間に 0.35 、DO との間に 0.15 の遺伝相関を報告している。Jamrozik ら (2005) は、未經産牛のノンリターン率と初産牛のノンリターン率の間で 0.60 、未經産牛のノンリターン率と経産牛の DFS の間で 0.23 という遺伝相関を報告した。Kuhn ら (2006) は、未經産牛 CR と経産牛 CR 間で 0.39 の遺伝相関を報告した。本章における結果はこれらの結果を概ね支持するものであり、未經産牛繁殖形質と経産牛繁殖形質は同一形質として扱うべきではない。しかし、未經産牛繁殖記録の集積度合の低さも関連しており、経産牛授精記録に比べ選抜の影響を受けないという点からも、今後の未經産牛繁殖記録の集積率の向上が期待される。

本章にて推定された未經産牛繁殖形質と経産牛繁殖形質間の遺伝相関の符号は望ましく、未經産牛繁殖形質に対する選抜により、生涯にわたる繁殖能力の改善が見込めるかもしれない。ただし未經産牛繁殖形質は早熟性にも大きく関与していると考えられ、実際に改良対象形質とするには、生涯生産性との関連の調査も必要になる。また、AC または AFS と日数形質との間の遺伝相関は、初産と 2 産とで異符号となっている。本章での編集条件では、3 産分娩の確認されている記録に対してのみ 2 産記録を計算しているため、未經産牛形質と 2 産形質をいずれも有する個体は限定され、それゆえ初産とは異なる結果を与えたかもしれない。

初産および 2 産の同一形質間の遺伝相関は 0.96 から 0.97 ときわめて高く、分娩間隔に関して Haile-Mariam ら (2003) の報告した結果に一致している。一方、異なる産次の形質間の表型相関は -0.07 から 0.14 と低い値となっており、特に未經産牛繁殖形質と経産牛繁殖形質間の表型相関は -0.06 から 0.05 ときわめて低い。したがって、ある産次での繁殖形質の観察値は以降の産次の観察値の判断基準にはなりえない。一方で、ある産次で繁殖成績の良好でなかった個体であっても、飼養環境次第で以降の産次の繁殖成績は改善可能である。

生産形質と繁殖形質の関連

2 形質分析による、繁殖形質および生産形質間の遺伝相関を表 3.6 に、表型相関を表 3.7 に示した。経産牛繁殖形質と生産形質間の遺伝相関は、DO あるいは DFS と生産形質間で 0.33 から 0.50, CR と生産形質間で -0.17 から -0.35 と推定され、過去の報告 (Dematawewa と Berger 1998; Haile-Mariam ら 2003; Kadarmideen ら 2003; 阿部ら 2008) と同様、対立的である。遺伝率のみから判断すると経産牛繁殖形質による選抜が有効であるが、経産牛繁殖形質に対する強い選抜は、生産形質の改良速度の減退を招く。これは酪農家にとって受け入れがたく、経産牛繁殖形質に対して強い選抜圧をかけることは、現段階では困難と思われる。したがって、繁殖形質の改良のためには、経済的な視点からの知見も含めた生産者への意識付けが不可欠である。良好な繁殖性と乳生産との最適なバランスについても、調査が必要である。

一方で、AC ならびに AFS と生産形質間の遺伝相関は -0.10 から -0.46 , 未経産牛 CR と生産形質との遺伝相関は 0.07 から 0.18 と推定され、わずかに望ましい方向にある。ただし、AFS と初産生産形質との遺伝相関は、AC と初産生産形質との遺伝相関に比べ絶対値においてわずかに高く、2 産生産形質との遺伝相関はこの逆の結果となっている。つまり、AFS は AC に比べより早熟性と強く関連しているかもしれない。Andersen-Ranberg ら (2005) は、未経産牛のノンリターン率と乳タンパク質量の間の遺伝相関を 0.04 と推定し、Muir ら (2004) は未経産牛のノンリターン率と乳量との間の遺伝相関を 0.12 と推定した。本章の結果は、これらの報告を支持するものである。一方で Kuhn ら (2006) は、未経産牛 CR と初産乳量との間の遺伝相関を -0.19 と推定している。この不一致は、米国における 3 年というデータ集積期間の短さによるものと考えられる。本章で推定された遺伝相関は、生産形質の改良を阻害しない、選抜対象形質としての未経産牛繁殖形質の有効性を示している。

一方、繁殖形質および生産形質間の表型相関は -0.16 から 0.17 と遺伝相関に比べ低く、Dematawewa と Berger (1998) および Muir ら (2004) と同様な結果となっている。したがって、高泌乳牛に対して授精を遅延させるといった、生産量に応じた特別な繁殖管理はあまり行なわれていないといえる。また、適切な繁殖管理を行なうことで、高泌乳牛の繁殖成

績を向上させられるともいえる。

本章における結果から、繁殖形質の遺伝率は低く、直接選抜による改良速度は高いとはいえない。しかし、選抜対象形質の一つとして総合指数に含めることによって、繁殖能力の遺伝的減退をある程度は抑制できる。遺伝率と集積の容易さから、DFS による選抜が繁殖形質の改良に有効である。ただし DFS と生産形質間の遺伝相関は対立的であり、選抜指数において大きな重みを付けることは現段階では困難である。未經産牛繁殖形質と生産形質間の遺伝相関は非対立的であって、未經産牛繁殖形質と経産牛繁殖形質間の遺伝相関は、初産および 2 産繁殖形質間の遺伝相関に比べ低いものの、わずかに望ましい。ただし、未經産牛繁殖記録の集積率は経産牛繁殖形質の集積率に比べ低く、また早熟性との関連も調査しなければ、早熟化を助長することにつながる。ゆえに未經産牛繁殖形質は、今後の記録の集積と早熟性との関連の調査結果次第で、生産形質の改良速度を犠牲にすることのない、有効な選抜対象形質となるかもしれない。

表 3.1 未經産牛繁殖形質に対する要約統計量

形質	記録数	平均	標準偏差
受胎日齢	308,238	545.0	102.6
初回授精日齢	308,238	518.6	84.8
初回授精受胎率 [%]	308,238	69.0	46.2

表 3.2 経産牛繁殖形質に対する要約統計量

形質	初産			2 産		
	記録数	平均	標準偏差	記録数	平均	標準偏差
空胎日数	400,016	124.6	67.7	400,009	126.2	67.2
初回授精日数	400,016	83.1	30.9	400,009	83.0	30.7
初回授精受胎率 [%]	400,016	51.3	50.0	400,009	50.1	50.0
305 日乳量 [kg]	400,087	7,249.4	1,420.2	400,037	8,550.7	1,681.8
305 日乳脂量 [kg]	400,087	282.2	56.3	400,037	333.1	67.7
305 日乳タンパク質量 [kg]	400,087	235.5	46.4	400,037	275.9	53.4

表 3.3 分娩年および産次ごとの繁殖形質¹の要約統計量

分娩年	未經産 ²			初産			2産		
	AC	AFS	CR [%]	DO	DFS	CR [%]	DO	DFS	CR [%]
1990 – 1992	548.0	530.3	77.6	113.4	80.3	57.8	113.1	79.8	57.1
1993 – 1995	558.7	536.4	73.6	122.1	83.9	54.3	121.5	83.2	53.9
1996 – 1998	553.6	526.6	68.9	127.0	84.5	50.1	127.6	83.8	49.4
1999 – 2001	535.1	505.3	64.6	131.6	84.0	46.5	135.1	84.5	44.6
2002 – 2003	530.6	496.4	62.7	129.8	82.7	46.8	134.4	83.7	44.3

¹AC = 受胎日齢; AFS = 初回授精日齢; CR = 初回授精受胎率; DO = 空胎日数; DFS = 初回授精日数

² 初産分娩年に基づく分類

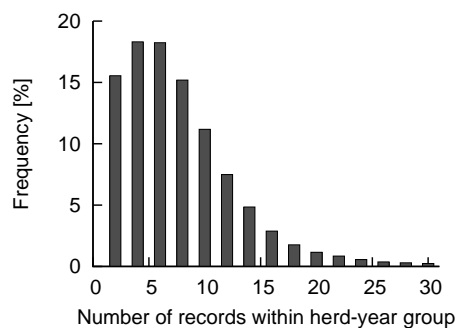


図 3.1 初産 CR の単形質分析にて使用したサブセットに対する牛群-年次グループ内記録数のヒストグラム

表 3.4 単形質分析による管理グループ分散 (σ_{hy}^2), 相加的遺伝分散 (σ_a^2), 残差分散 (σ_e^2)
ならびに遺伝率 (h^2) 推定値および事後標準偏差 (括弧内)

産次	形質 ¹	σ_{hy}^2	σ_a^2	σ_e^2	h^2
未経産	AC ²	3.893 (0.004)	1.254 (0.005)	5.326 (0.003)	0.120 (0.004)
	AFS ²	3.519 (0.003)	0.910 (0.003)	2.651 (0.002)	0.128 (0.004)
	CR	0.101 (0.003)	0.030 (0.004)	1.000 ⁴	0.027 (0.003)
初産	DO ²	0.251 (0.001)	0.413 (0.002)	3.904 (0.002)	0.090 (0.005)
	DFS ²	0.143 (0.000)	0.099 (0.000)	0.723 (0.000)	0.103 (0.005)
	CR	0.076 (0.002)	0.058 (0.006)	1.000 ⁴	0.051 (0.005)
	MILK ³	0.733 (0.006)	0.559 (0.008)	0.670 (0.005)	0.285 (0.004)
	FAT ²	1.207 (0.001)	0.690 (0.001)	1.008 (0.001)	0.238 (0.004)
	PRO ²	0.968 (0.001)	0.372 (0.001)	0.663 (0.000)	0.186 (0.003)
2 産	DO ²	0.161 (0.000)	0.328 (0.002)	3.924 (0.002)	0.074 (0.005)
	DFS ²	0.118 (0.000)	0.101 (0.001)	0.726 (0.000)	0.107 (0.006)
	CR	0.076 (0.002)	0.055 (0.006)	1.000 ⁴	0.049 (0.005)
	MILK ³	1.055 (0.009)	0.631 (0.011)	1.021 (0.007)	0.233 (0.004)
	FAT ²	1.635 (0.001)	0.925 (0.002)	1.527 (0.001)	0.226 (0.004)
	PRO ²	1.244 (0.001)	0.447 (0.001)	0.936 (0.001)	0.170 (0.003)

¹ AC = 受胎日齢; AFS = 初回授精日齢; CR = 初回授精受胎率; DO = 空胎日数; DFS = 初回授精日数; MILK = 305 日乳量; FAT = 305 日乳脂量; PRO = 305 日乳タンパク質量

² h^2 を除き 10^3 により除した値

³ h^2 を除き 10^6 により除した値

⁴ 残差分散を 1 に固定

表 3.5 未経産牛ならびに経産牛繁殖形質間の遺伝相関 (上三角) ならびに表型相関¹ (下三角) 推定値および事後標準偏差 (括弧内)

産次	形質 ²	未経産			初産			2 産		
		AC	AFS	CR	DO	DFS	CR	DO	DFS	CR
未経産	AC		0.99 (0.00)	-0.97 (0.01)	0.24 (0.05)	0.11 (0.05)	-0.27 (0.06)	-0.13 (0.06)	-0.11 (0.07)	0.02 (0.07)
	AFS	0.82		-0.11 (0.07)	0.12 (0.04)	0.16 (0.04)	-0.06 (0.06)	-0.18 (0.05)	-0.01 (0.05)	0.11 (0.07)
	CR	-0.85	0.05		-0.47 (0.08)	0.15 (0.12)	0.74 (0.06)	-0.17 (0.08)	0.44 (0.08)	0.69 (0.06)
初産	DO	0.00	0.00	-0.01		0.87 (0.02)	-0.84 (0.03)	0.96 (0.01)	0.88 (0.02)	-0.85 (0.03)
	DFS	-0.02	0.01	0.04	0.42		-0.42 (0.08)	0.87 (0.02)	0.97 (0.00)	-0.05 (0.12)
	CR	-0.02	0.01	0.05	-0.84	0.08		-0.76 (0.04)	0.12 (0.09)	0.97 (0.01)
2 産	DO	-0.06	-0.04	0.02	0.13	0.08	-0.05		0.84 (0.02)	-0.76 (0.04)
	DFS	-0.06	-0.02	0.05	0.10	0.14	0.03	0.38		-0.25 (0.10)
	CR	0.02	0.02	0.03	-0.07	0.00	0.11	-0.83	0.12	

¹ 表型相関推定値に対する事後標準偏差はすべて 0.01 未満

² AC = 受胎日齢; AFS = 初回授精日齢; CR = 初回授精受胎率; DO = 空胎日数; DFS = 初回授精日数

表 3.6 繁殖形質ならびに生産形質¹間の遺伝相関推定値および事後標準偏差 (括弧内)

産次	形質	初産			2産		
		MILK	FAT	PRO	MILK	FAT	PRO
未経産	AC	-0.10 (0.03)	-0.15 (0.03)	-0.21 (0.03)	-0.37 (0.03)	-0.38 (0.03)	-0.46 (0.03)
	AFS	-0.19 (0.02)	-0.24 (0.02)	-0.29 (0.03)	-0.31 (0.03)	-0.32 (0.03)	-0.41 (0.03)
	CR	0.07 (0.07)	0.10 (0.07)	0.13 (0.07)	0.09 (0.07)	0.11 (0.08)	0.18 (0.07)
初産	DO	0.43 (0.03)	0.39 (0.03)	0.43 (0.03)	0.39 (0.03)	0.40 (0.04)	0.37 (0.04)
	DFS	0.49 (0.03)	0.48 (0.03)	0.50 (0.03)	0.35 (0.03)	0.37 (0.03)	0.35 (0.04)
	CR	-0.35 (0.05)	-0.31 (0.05)	-0.35 (0.05)	-0.27 (0.06)	-0.26 (0.06)	-0.23 (0.06)
2産	DO	0.45 (0.04)	0.44 (0.04)	0.41 (0.04)	0.40 (0.03)	0.43 (0.03)	0.39 (0.03)
	DFS	0.46 (0.04)	0.47 (0.04)	0.44 (0.04)	0.34 (0.03)	0.41 (0.03)	0.33 (0.03)
	CR	-0.29 (0.06)	-0.31 (0.06)	-0.30 (0.06)	-0.19 (0.05)	-0.26 (0.06)	-0.17 (0.06)

¹AC = 受胎日齢; AFS = 初回授精日齢; CR = 初回授精受胎率; DO = 空胎日数; DFS = 初回授精日数; MILK = 305 日乳量; FAT = 305 日乳脂量; PRO = 305 日乳タンパク質量

表 3.7 繁殖形質ならびに生産形質¹間の表型相関²推定値

産次	形質	初産			2産		
		MILK	FAT	PRO	MILK	FAT	PRO
未経産	AC	0.12	0.13	0.11	-0.09	-0.09	-0.07
	AFS	0.00	-0.01	-0.01	-0.06	-0.06	-0.05
	CR	-0.06	-0.06	-0.05	0.02	0.02	0.01
初産	DO	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.11
	DFS	0.11	0.10	0.10	0.07	0.06	0.05
	CR	-0.16	-0.15	-0.16	-0.09	-0.09	-0.07
2産	DO	0.07	0.07	0.05	0.17	0.16	0.16
	DFS	0.05	0.05	0.04	0.09	0.09	0.08
	CR	-0.05	-0.05	-0.04	-0.16	-0.16	-0.16

¹AC = 受胎日齢; AFS = 初回授精日齢; CR = 初回授精受胎率; DO = 空胎日数; DFS = 初回授精日数; MILK = 305 日乳量; FAT = 305 日乳脂量; PRO = 305 日乳タンパク質量

² 事後標準偏差はすべて 0.01 未満

第 4 章

北海道のホルスタイン種における繁殖形質に対する遺伝的趨勢 および各効果の寄与

4.1 緒言

第 2 章では繁殖形質に対する表型的な減退傾向を示し、第 3 章では繁殖形質における低い遺伝率、経産牛繁殖形質と生産形質との対立関係、経産牛繁殖形質とは異なる未経産牛繁殖形質と生産形質との関連を示した。経産牛繁殖形質と生産形質は遺伝的に対立関係にあり、現在の生産形質を重視した選抜は、繁殖形質に負の相関反応をもたらすと予測される。Philipsson ら (1994) は、こうした遺伝的な対立関係等を考慮して繁殖形質の総合指数への組み込みを比較的早期に提唱し、機能的形質を総合指数に組み込んだ場合の選抜の正確度および各形質の遺伝的獲得量について検討している。また複数の研究において繁殖形質に対する遺伝的趨勢が推定されており、いずれも繁殖形質の遺伝的な減退傾向が示されている (Wall ら 2003; Liu ら 2008)。

わが国においては、Atagi と Hagiya (2005) が空胎日数 (DO) に対する遺伝的な悪化傾向を示しているが、未経産牛繁殖形質やその他の経産牛繁殖形質に対する育種価の検討はほとんど行なわれていない。

本章の目的は、未経産牛および経産牛繁殖形質に関する遺伝的趨勢の算出、各効果の寄与の比較を通して、選抜対象形質としての繁殖形質の有効性を検討することである。

4.2 材料および方法

分析に用いたデータは、第 3 章と同様、(社) 北海道酪農検定検査協会に集積された、1990 年から 2003 年に分娩した個体の繁殖記録ならびに乳期記録、および (社) 日本ホルスタイン登録協会北海道支局に集積された血統記録である。

分析対象形質は、第 3 章において扱った繁殖形質と同様、すなわち未経産牛に対する受胎日齢 (AC)、初回授精日齢 (AFS) ならびに初回授精受胎率 (CR)、および初産ならびに 2 産牛に対する DO、初回授精日数 (DFS) ならびに CR である。記録の編集方法、および適用したモデルについても第 3 章と同一である。経産牛繁殖形質の分析に際しては、第 3 章と同

様, 計算時間の制約から 40 万記録程度のサブセットを分析に供した。

また, 記録を持つ個体から最大 5 世代さかのぼって得た血統記録を用い, 性 (2 区分) および誕生年グループ (1965 年まで, 1966 年から 1970 年, 1971 年から 1975 年, 1976 年から 1980 年, 1981 年から 1985 年, 1986 年から 1990 年, 1991 年以降の 7 区分) により, 14 区分の遺伝グループを設けた。血統ファイル内の血縁個体数は, 記録を持つ個体も含め 766,514 から 852,208 の範囲にあった。

育種価および母数効果の推定に際し, 第 3 章の単形質分析にて得られた分散成分を用いた。THRGIBBS1F90 プログラム (Tsuruta と Misztal 2006) の fixed_var オプションにより, 各形質に対し分散成分を固定した上での母数効果および変量効果に対する長さ 200,000 の Gibbs chain を生成し, 最初の 50,000 サンプルを burn-in として破棄した。サンプルの保存間隔を 50 とし, 得られた 3,000 サンプルの事後平均を最終的な推定値とした。

得られた育種価の推定値を元に, 記録を持つ娘牛数が 25 頭以上の雄個体, および各産次内のいずれの形質においても育種価の事後標準偏差が高い方から 0.1% に該当しない雌個体について, 遺伝的趨勢を算出した。

加えて, 年次辺り記録数が 10 以上である牛群に対する管理グループ効果の推定値を抽出し, 管理グループ効果の変動を検討した。また, 月齢グループ効果および年次-季節効果の寄与を検討し, さらにそれらの効果と変量効果の寄与の度合を比較した。CR に対する推定値の検討に際して, 表型的分析の結果との比較のため, Gianola と Foulley (1983) による潜在尺度推定値から観察尺度への変換式を用いた。本研究においては, CR を 2 値形質として定義しているため, Gianola と Foulley (1983) による変換式は以下のように表せる:

$$\begin{aligned} P &= 1 - \Phi \left(0 - \left(\hat{h}_y + \hat{M}Y + \hat{A} + \hat{a} \right) \right) \\ &= 1 - \Phi \left(- \left(\hat{M}Y + \hat{A} + \hat{a} \right) \right) \\ &= \Phi \left(\hat{M}Y + \hat{A} + \hat{a} \right) \end{aligned} \quad (4.1)$$

ここで, P は表型値の 1 となる確率として示される観察尺度での CR, Φ は標準正規累積分布関数, 1 行目におけるゼロは閾値, \hat{h}_y は管理グループ効果の推定値, $\hat{M}Y$ は年次-季節効果の推定値, \hat{A} は月齢クラス効果の推定値, \hat{a} は推定育種価である。本章では, 遺伝的趨勢の変

化に伴う表型的な CR の変化を検証するため、 \hat{h}_y をゼロ、 $\hat{M}Y$ を各年次-季節効果の推定値の平均、 \hat{A} を各月齢クラス効果の推定値の平均とした。未経産牛および初産牛 CR については、 \hat{a} として 1988 年および 2001 年に誕生した雌個体の推定育種価の平均を用い、その差を求めた。2 産牛 CR については、 \hat{a} として 1986 年誕生個体および 1999 年に誕生した雌個体についての推定育種価の平均を用い、差を求めた。

4.3 結果および考察

遺伝的趨勢

図 4.1 および図 4.2 に、それぞれ未経産牛および経産牛繁殖形質に対する遺伝的趨勢を示した。

CR (図 4.1(c), 図 4.2(e) および図 4.2(f)) に着目すると、未経産牛に関しては雌雄ともほぼ変化していないが、初産および 2 産に関しては、いずれも悪化傾向にある。AFS, AC (図 4.1(a) および図 4.1(b)) は早期化傾向にあり、日数形質 (図 4.2(a), 図 4.2(b), 図 4.2(c) および図 4.2(d)) は延長 (悪化) 傾向にあった。これらの遺伝的趨勢は、第 2 章において示した表型的な趨勢と類似している。つまり、第 3 章にて示した経産牛繁殖形質と生産形質間の対立関係から予測される、繁殖形質における望ましくない相関反応の存在が示される。また、雌個体に比べ雄個体においてより経産牛繁殖形質の減退度合が大きい。これについては、雄個体に対する強い選抜圧から、相関反応が大きくなったことによるものと考えられる。

AC および AFS の平均値の変化 (第 2 章, 表 2.4) はそれぞれ 20 日および 30 日程度であり、表型的な変化に比して、より強い遺伝的な早熟化傾向がうかがえる。この要因として、初産生産形質を重視した選抜の結果として生じた、初産形質と遺伝的に強く関連していると予測される早熟性への相関反応の存在が挙げられる。

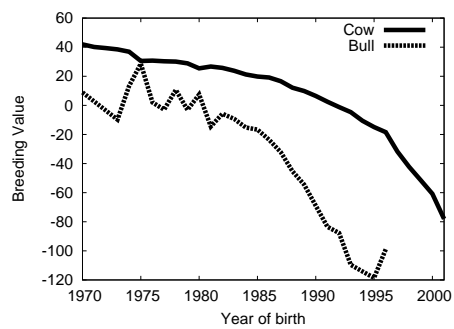
初産 DO の趨勢は、1988 年から 2001 年にかけて 12 日程度増加しており、1990 年代前半から 2000 年代にかけての表型的な増加 (第 2 章, 表 2.5) と同程度であるが、2 産 DO の趨勢 (10 日程度の延長) は表型的な増加 (第 2 章, 表 2.6) に比べ半分程度の変化に留まっている。つまり、産次に伴う環境要因の寄与の増加、および遺伝以外の繁殖能力の減退要因の存在が示される。一方で、DFS は 1980 年代半ばから初産で 5 日程度、2 産で 4 日程度増加してお

り、表型的な増加（第 2 章、表 2.5 および表 2.6）に比べ大きな増加度合を示している。つまり、遺伝率の低い形質ではあるが、繁殖形質の遺伝的減退は確固として存在し、育種改良を意図した全国的な授精記録の利用が望まれる。

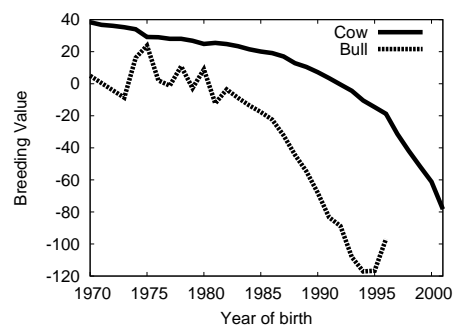
こうした繁殖形質の遺伝的減退は、Wall ら（2003）や Liu ら（2008）においても示されており、わが国においても Atagi と Hagiya（2005）が DO について同様の結果を示している。一方、ノルウェー赤牛の総合指数において 1970 年代からノンリターン率を含めているノルウェーにおいては、ノンリターン率の遺伝的改良が達成されている（Andersen-Ranberg ら 2005）。ただし、Andersen-Ranberg ら（2005）において指摘されているように、遺伝率の低い形質に対する選抜を正確に行なうには、種雄牛当りの娘牛数を多くとる必要があり、ホルスタイン種における同様の改良は困難であるかもしれない。

式（4.1）から求めた観察尺度での CR の変化は、未経産牛で -0.56% 、初産牛で -5.81% 、および 2 産牛で -4.23% 程度と、いずれも減退傾向にあった。しかし第 2 章において示した CR に対する表型的減退は、いずれの産次においても 10% 程度（表 2.4、表 2.5 および表 2.6）であり、各産次に対する遺伝的要因以外の受胎率の低下要因の存在が示される。

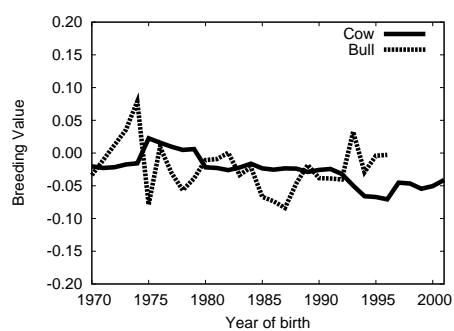
以上の結果から、DFS にて示される発情回復能力の遺伝的減退は比較的大きく、CR にて示される受胎能力の減退には別な環境要因が強く関連している。したがって、第 3 章の結果（早期の記録の利用可能性、および比較的高い遺伝率）も考慮すると、本章にて扱った繁殖形質の中では、DFS はもっとも改良の必要な形質である。



(a) 受胎日齢



(b) 初回授精日齢



(c) 初回授精受胎率

図 4.1 未経産牛繁殖形質に対する遺伝的趨勢

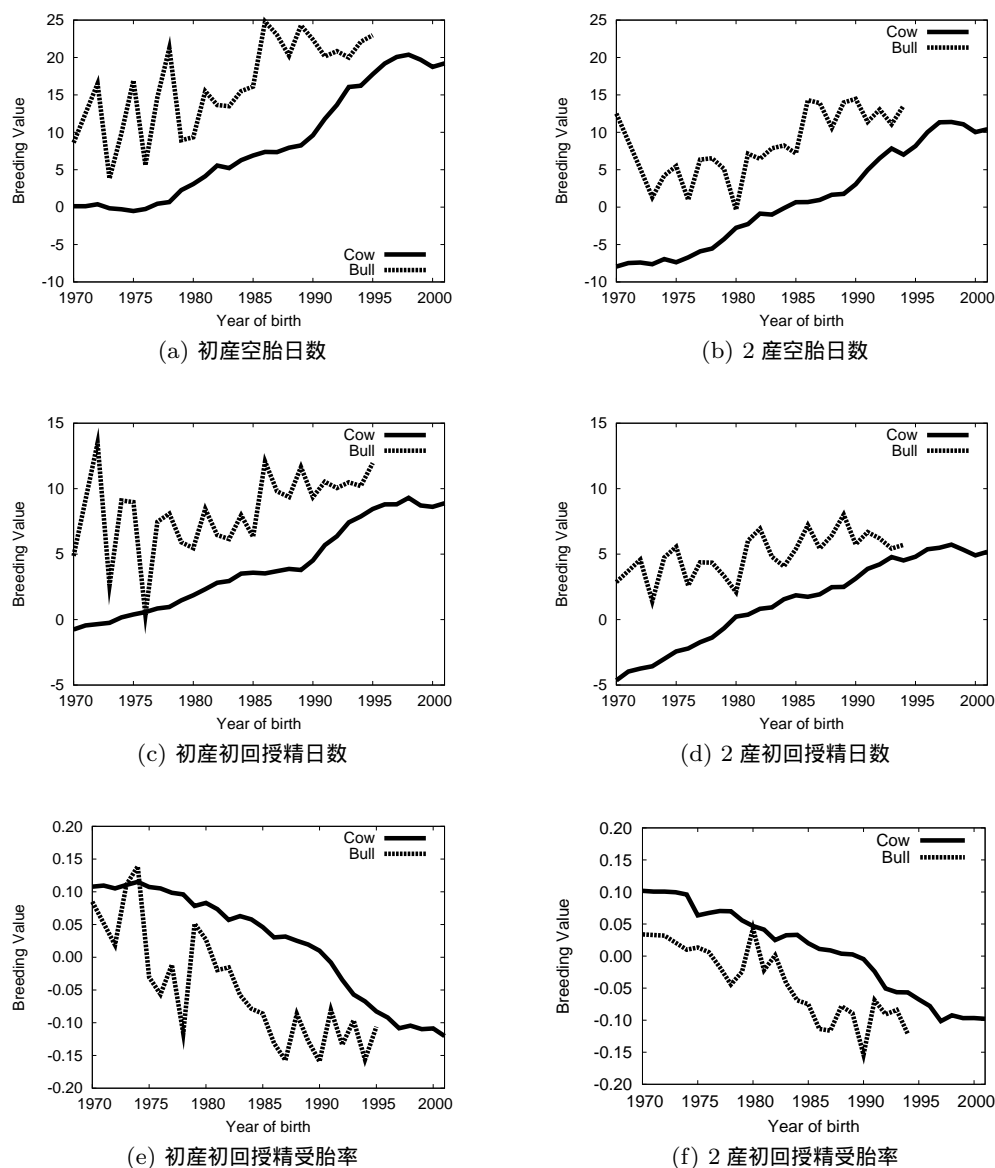


図 4.2 経産牛繁殖形質に対する遺伝的趨勢

育種価の変動

未経産牛および経産牛繁殖形質に対する推定育種価のヒストグラムを、それぞれ図 4.3 および図 4.4 に示した。

日数形質 (図 4.4(a), 図 4.4(b), 図 4.4(c) および図 4.4(d)) に着目すると、初産および 2 産で同様の分布を呈しているが、分布の最頻値は初産に比べ 2 産で 0 に近く、遺伝的趨勢と同様、初産における 2 産に比した日数形質の悪化傾向を示している。また遺伝的趨勢からも予

想されたとおり、未経産牛 CR を除くすべての形質において、分布の最頻値に雌雄差がみられる。遺伝的趨勢と同様、この結果も雄個体に対する強い選抜圧のもたらした相関反応によるものと考える。

CR (図 4.3(c), 図 4.4(e) および図 4.4(f)) を見ると、育種価の変動は初産においてもっとも大きく、次いで 2 産で大きい。未経産牛 CR に関しては、第 2 章および第 3 章においても指摘した、授精記録の集積率の低さが影響しているかもしれない。2 産形質に関しても、3 産の分娩記録および初産授精記録の存在する記録に対してのみ計算したことから、記録に偏りが生じた可能性がある。こうした偏りを除去するには、生存時間解析、あるいは Chang ら (2006) の行なったような打切閾値モデルによる分析が必要となる。多形質モデルへの拡張可能性を考慮すると、後者の方法を今後重視すべきであろう。

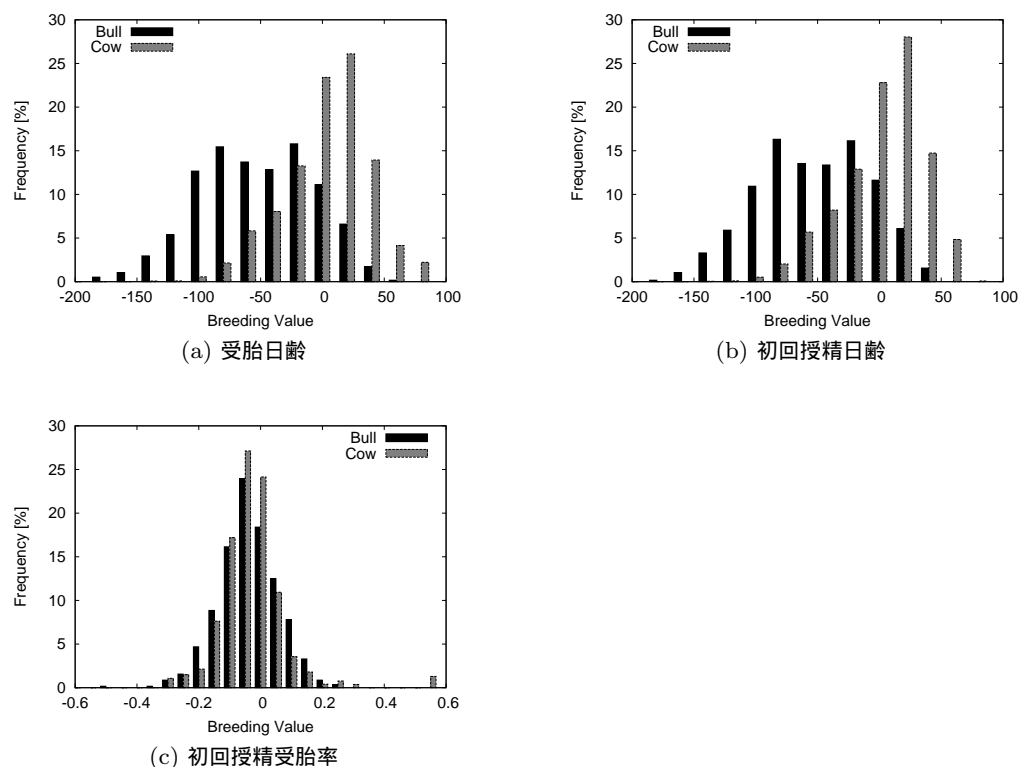


図 4.3 未経産牛繁殖形質に対する育種価のヒストグラム

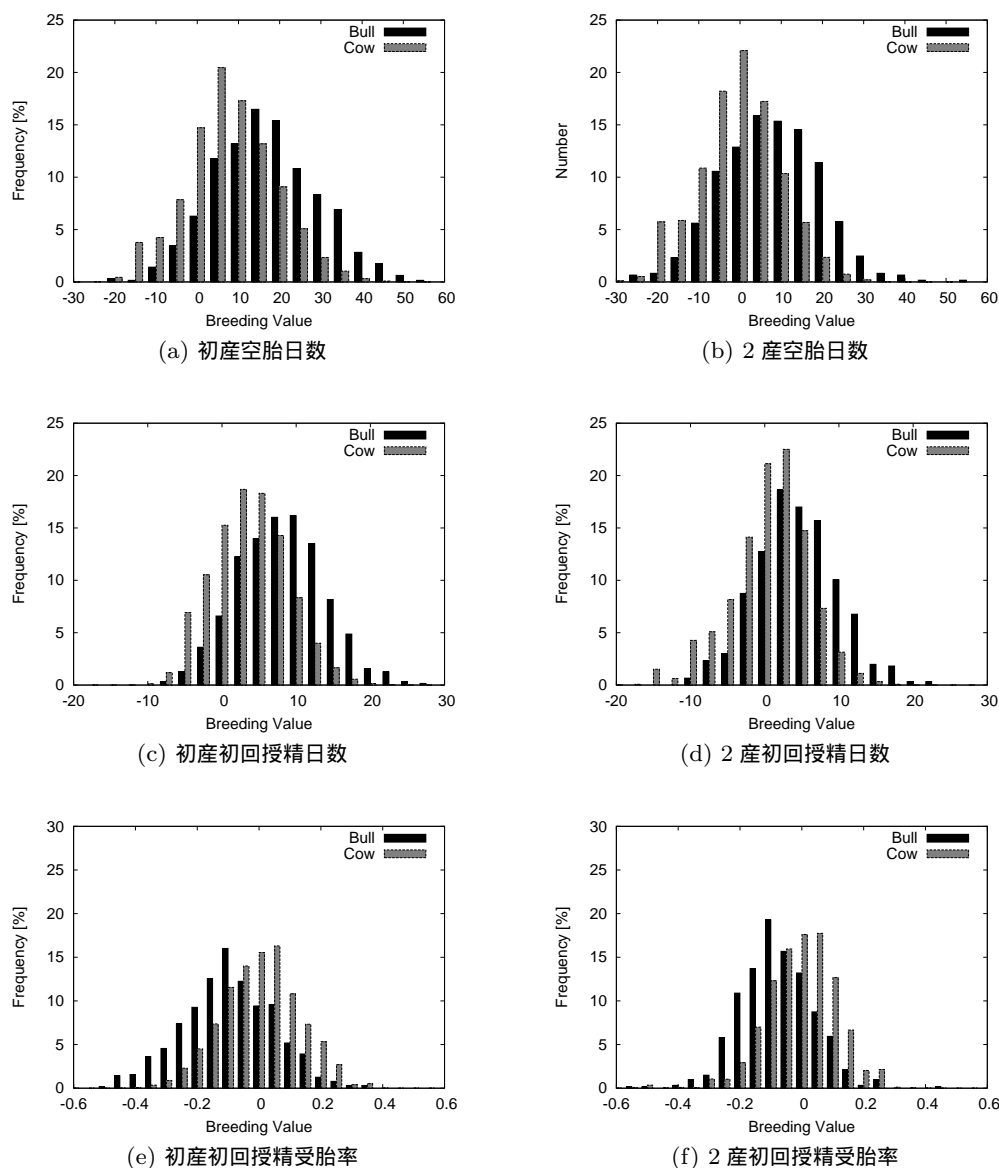


図 4.4 経産牛繁殖形質に対する育種価のヒストグラム

管理グループ効果

未経産牛繁殖形質および経産牛繁殖形質に対する初回授精年または分娩年別の管理グループ効果のヒストグラムを、それぞれ図 4.5 および図 4.6 に示した。

未経産牛繁殖形質 (図 4.5), および初産 CR (図 4.6(e)) に対するヒストグラムはきわめて先鋭であり、飼養管理の影響の少ないことを示している。一方で、日数形質および 2 産 CR (図 4.6(a) から 4.6(d) および図 4.6(f)) については比較的すその広い分布を呈しており、飼

養管理による変動が未経産牛繁殖形質や初産 CR に比して大きいことを示している。特に、日数形質に対する管理グループ効果の範囲は 30 日以上あり、多数の牛群において飼養管理の改善による大幅な繁殖成績の向上が可能といえる。より具体的には、発情発見率の向上、周産期の疾病予防ならびに栄養管理、牛舎環境の改善といった対策が必要となる。

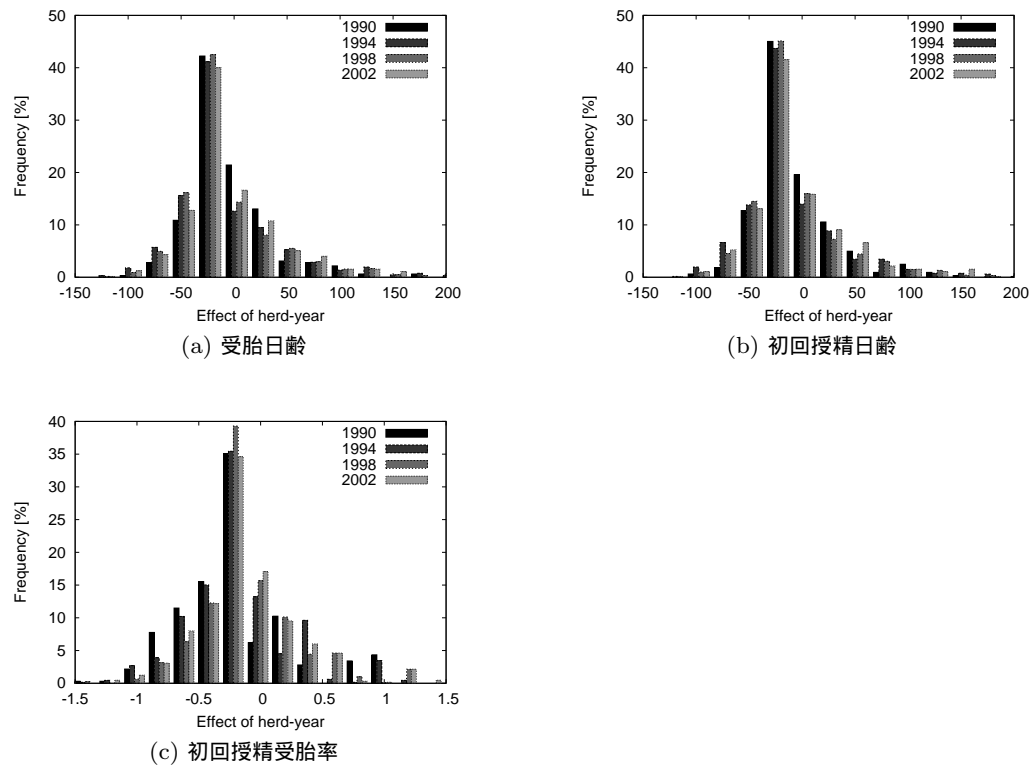


図 4.5 未経産牛繁殖形質に対する牛群-初回授精年の効果のヒストグラム

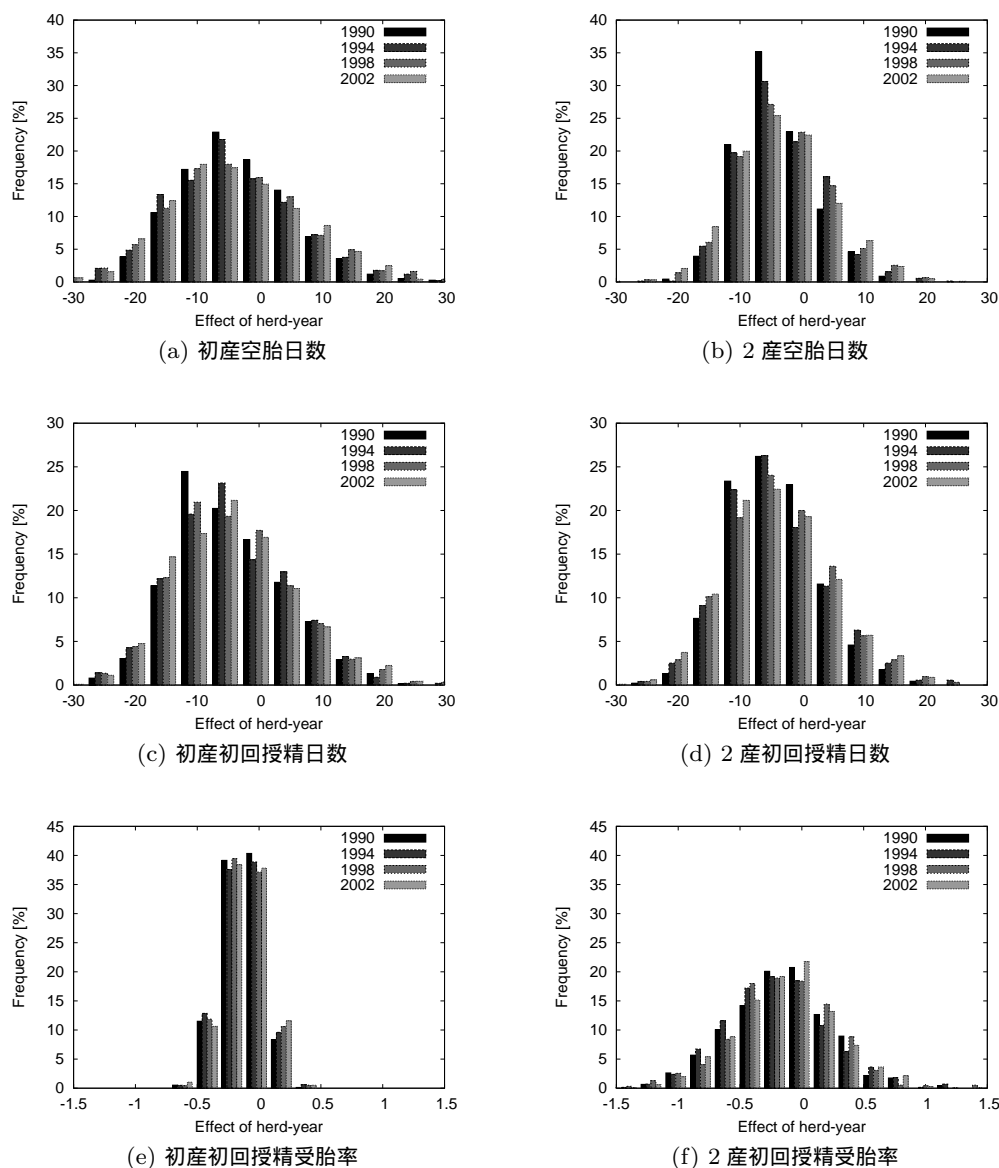


図 4.6 経産繁殖形質に対する牛群-分娩年の効果のヒストグラム

母数効果

繁殖形質に対する月齢クラス効果の推定値を表 4.1 に示した。また、未経産牛および経産牛繁殖形質に対する初回授精年月または分娩年月の効果を、それぞれ図 4.7 および図 4.8 に示した。

表 4.1 を見ると、早期に授精される個体ほど未経産 CR が劣る一方、早期に分娩した個体ほど初産以降の繁殖成績にすぐれていることがわかる。Andersen-Ranberg ら (2005) は、

ノンリターン率および DFS について、初産分娩月齢の早い個体 (19 から 23 ヶ月) においても分娩月齢の効果は悪化すると報告している。本研究においては、20 ヶ月齢以降に初産分娩した個体のみを分析対象としており、さらに月齢を 4 ヶ月ずつまとめたクラス効果としてモデルに含んでいる。両結果における不一致の一因として、こうしたデータの編集方法、品種およびモデルにおける差異が挙げられる。

未経産牛繁殖形質に対する初回授精年月の効果 (図 4.7) を見ると、AC および AFS に対する効果は 8 から 9 月で低く (つまり授精または受胎が早い)、3 から 4 月で高い (つまり授精または受胎が遅い)。一方で、CR に対する効果には、一貫した傾向が見出せない。Kuhn ら (2006) は CR の表型的分析について同様な結果を報告しており、また経産牛 CR に比べ未経産牛 CR において季節の効果が小さかったとする報告が複数存在することを指摘している。したがって、未経産牛繁殖形質に対する季節の効果がほとんどないとすれば、第 2 章において触れたように、本章での AC および AFS に対する推定値にも、授精時期の人為的な調整が影響していたのかもしれない。

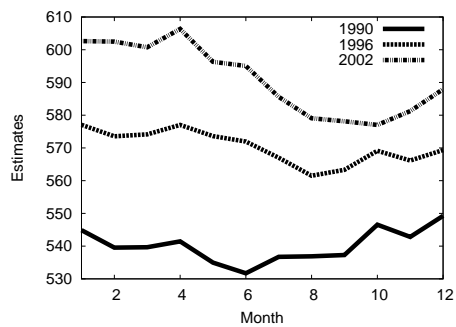
経産牛繁殖形質に対する分娩年月の効果 (図 4.8) を見ると、いずれの形質においても夏分娩で良好になり、春分娩で悪化する傾向にある。第 2 章においても触れた暑熱ストレスの影響が、分娩年月効果の推定値に現れているといえる。ただし同一年次内の効果間の差異は年毎に少なくなっており、繁殖形質の観察値の変動に対する季節以外の効果の寄与が大きくなってきている。本章にて用いたモデルによって相加的遺伝子効果が適切に分離できているとすれば、分娩年月の効果の悪化は環境由来の繁殖能力の減退を表すことになり、多くの牛群において、乳牛の能力に見合った飼養管理がなされていないという一つの証拠になる。第 3 章におけるように、いずれの繁殖形質の遺伝率も 0.2 を上回ることではなく、分娩年月の効果の悪化という本章における結果も総合すると、飼養管理の改善による繁殖成績の向上の重要性はさらに高まる。

表 4.1 繁殖形質¹ に対する月齢クラス効果の推定値

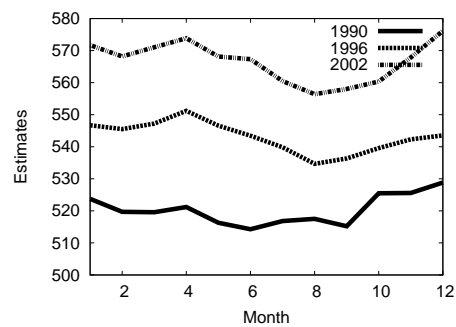
月齢クラス ²	未経産	初産			2産		
	CR	DO	DFS	CR	DO	DFS	CR
1	1.50	-55.8	-24.0	-0.69	46.4	19.1	-0.17
2	1.53	-50.6	-21.6	-0.70	53.6	23.4	-0.22
3	1.54	-44.3	-19.2	-0.74	63.7	27.6	-0.31
4	1.55	-39.6	-17.5	-0.75	71.5	30.4	-0.36
5	1.54	-35.9	-16.7	-0.77	78.2	32.4	-0.40
6	1.58	-33.5	-16.6	-0.75	84.0	35.0	-0.42
7	—	—	—	—	89.5	36.1	-0.46

¹DO: 空胎日数, DFS: 初回授精日数, CR: 初回授精受胎率

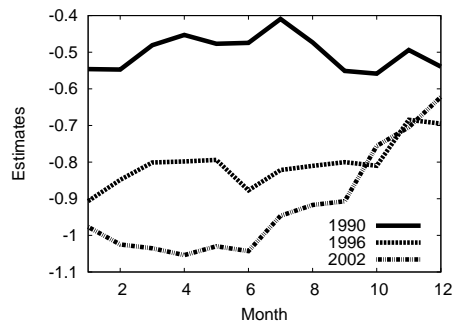
² 未経産牛: 14 未満, 15, 16, 17, 18, 19 ヶ月以上の 6 カテゴリ, 初産牛: 20 から 43 ヶ月齢の間で 4 ヶ月ずつ区切った 6 カテゴリ, 2産牛: 32 ヶ月齢から 59 ヶ月齢の間で 4 ヶ月ずつ区切った 7 カテゴリ



(a) 受胎日齢



(b) 初回授精日齢



(c) 初回授精受胎率

図 4.7 未経産牛繁殖形質に対する初回授精年月の効果

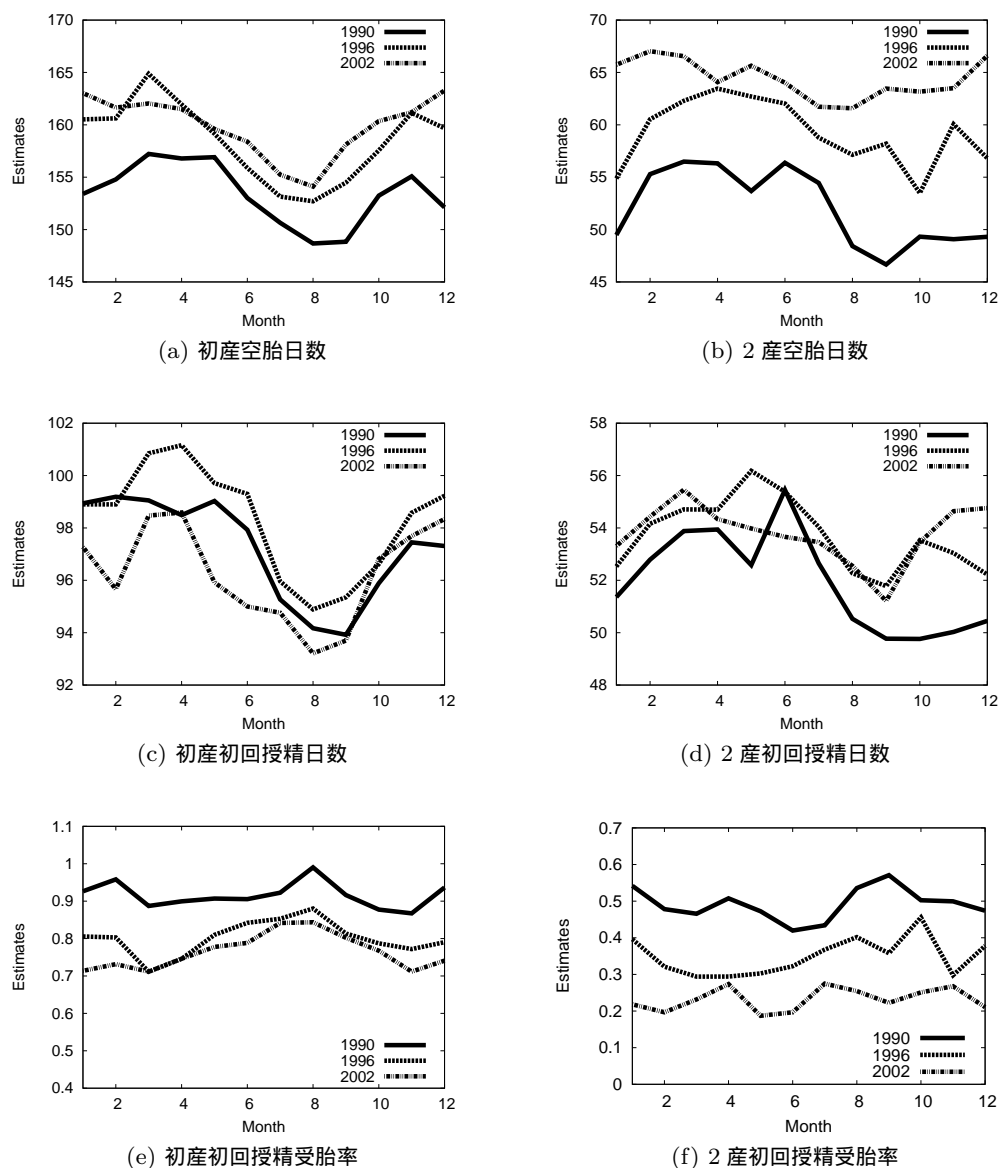


図 4.8 経産繁牛殖形質に対する分娩年月の効果

各効果の寄与の比較

本章にて推定した各効果の変動を見ると、分娩年月あるいは初回授精年月の効果に比して、管理グループ効果および育種価の変動が大きい。さらに第 3 章にて推定した管理グループ効果分散および遺伝分散推定値から予想されるように、DO では育種価の変動が管理グループ効果の変動よりも大きく、DO 以外の形質では管理グループ効果の変動が大きい。特に、未経産牛繁殖形質においては管理グループ効果の変動が大きい、牛群ごとに授精記録の集

積率に大きく差のあることが関連しているかもしれない。しかしこのことを差し引いても、管理グループ効果は繁殖形質を説明する効果としてきわめて重要であり、この結果からも繁殖成績の向上のための飼養管理の重要性が裏付けられる。しかし DO において遺伝分散が管理グループ分散を上回ったように、遺伝的な要因も無視できない。したがって、より正確な授精あるいは妊娠確認記録の報告を達成した上での、遺伝的選抜に向けた取り組みは不可欠であろう。ただし、いずれの形質についても遺伝率は低く、現在わが国において評価対象となっている機能的形質と同様、育種価の予測精度は高くなく、また改良速度も決して高くはない。また、総合指数へ組み込む形質数の増加は、近交係数の急激な上昇を招くと懸念される。したがって、繁殖形質を評価対象とする場合でも、その評価値の利用には慎重な検討が必要である。

要約

本研究では、繁殖形質の計算に必要となる授精記録の集積状況について概括し、繁殖形質に関する遺伝的パラメータの推定、生産形質との遺伝ならびに表型的関連の調査、および繁殖形質の遺伝的な減退度合とその他の効果の寄与度合の比較を行なった。

授精記録の集積率は年毎に上昇傾向にあるものの、未経産牛における集積率は経産牛における集積率に比べ低かった。また牛群規模および牛群レベル別に集積率を平均すると、近年では大規模あるいは高泌乳牛群における報告率が高く、支庁間でも平均集積率に差がみられた。繁殖管理に対する酪農現場の意識向上という観点からも、全道的な報告率向上のための取り組みが必要である。分娩月、支庁あるいは牛群規模ならびに牛群レベル別に要約統計量を算出したところ、いずれの区分においても、繁殖形質の表型的な減退傾向が示された。さらに、最小 2 乗分析の結果、繁殖形質に対する分娩もしくは初回授精年月、支庁-分娩もしくは初回授精年、あるいは牛群規模ならびに牛群レベルの効果は高度に有意であった。

繁殖形質の遺伝率は低く、最大でも 0.1 程度であった。繁殖形質間の遺伝相関は概して望ましく、一つの繁殖形質の改良から、他の繁殖形質における相関反応が期待できる。ただし、未経産牛繁殖形質と経産牛繁殖形質間の遺伝相関は経産牛形質間の遺伝相関に比して低く、未経産牛繁殖形質を経産牛繁殖形質と同一形質として扱うべきではない。経産牛繁殖形質と生産形質間の遺伝相関は対立的であり、生産形質を重視した改良は繁殖形質に負の相関反応をもたらすと示唆された。一方で、未経産牛繁殖形質と生産形質間の遺伝相関は非対立的であって、未経産牛繁殖形質に対する選抜による、生産形質を減退させることのない、生涯にわたる繁殖能力の改良可能性が示された。ただし、未経産牛繁殖形質は早熟性と強く関連していると予測され、今後、早熟性との関連の調査が必要である。

未経産牛繁殖形質には遺伝的な減退傾向は認められなかったが、経産牛繁殖形質には初産、2 産を問わず遺伝的な減退傾向がみられた。ただし遺伝的変動のみならず牛群間変動も大きく、飼養管理による繁殖成績の大幅な向上可能性が示された。

ただしいずれの分析においても、未経産牛繁殖記録の集積率の低さが分析結果に偏りを生じさせていたかもしれない。したがって、より正確な分析、ひいては繁殖形質の遺伝評価の

実現のためには、さらなる授精記録の報告率の向上が強く求められる。繁殖形質に限らず、機能的形質の改良のためには、酪農現場の飼養管理に対する意識の向上が不可欠である。生産者単位、あるいは農協・地域単位での意識向上の取り組み、それによる遺伝、環境両面からの繁殖形質の改善を切に願う。

謝辞

本研究の遂行、また本論文の作成に当たり、ご指導を頂いた帯広畜産大学畜産生命科学研究部門の鈴木三義教授に心より感謝いたします。また、同学畜産衛生学研究部門の口田圭吾教授、畜産生命科学研究部門の日高智教授は本研究の副査を引き受けてくださり、畜産生命科学研究部門の増田豊助教には有益な助言、また激励を頂きました。深く感謝いたします。

社団法人北海道酪農検定検査協会、社団法人日本ホルスタイン登録協会北海道支局には、本研究にて用いたデータを提供して頂きました。厚くお礼申し上げます。

最後に、公私ともお世話になった鈴木研究室および口田研究室の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 阿部隼人・増田豊・鈴木三義. 2008. 北海道のホルスタイン種における初産分娩月齢と繁殖ならびに生産形質との遺伝的関連. 日本畜産学会報 **79**, 203–209.
- Andersen-Ranberg IM, Klemetsdal G, Heringstad B and Steine T. 2005. Heritabilities, genetic correlations, and genetic change for female fertility and protein yield in Norwegian dairy cattle. *Journal of Dairy Science* **88**, 348–355.
- Atagi Y, Hagiya K. 2005. Preliminary study of genetic evaluation for female fertility in Japan. *Proceedings of The Interbull Bulletin* **33**, 51–55.
- Averill T, Rekaya R, Weigel K. 2006. Random regression models for male and female fertility evaluation using longitudinal binary data. *Journal of Dairy Science* **89**, 3681–3689.
- Bagnato A, Oltenacu PA. 1994. Phenotypic evaluation of fertility traits and their association with milk production of Italian Friesian cattle. *Journal of Dairy Science* **77**, 874–882.
- Chang YM, Andersen-Ranberg IM, Heringstad B, Gianola D, Klemetsdal G. 2006. Bivariate analysis of number of services to conception and days open in Norwegian Red using a censored threshold-linear model. *Journal of Dairy Science* **89**, 772–778.
- Dematawewa CMB, Berger PJ. 1998. Genetic and phenotypic parameters for 305-day yield, fertility, and survival in Holsteins. *Journal of Dairy Science* **81**, 2700–2709.
- de Vries A, Risco CA. 2005. Trends and seasonality of reproductive performance in Florida and Georgia dairy herds from 1976 to 2002. *Journal of Dairy Science* **88**, 3155–3165.
- 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. 日本畜産学会報 **77**, 9–15.

- Gianola D, Foulley JL. 1983. Sire evaluation for ordered categorical data with a threshold model. *Genetics Selection Evolution* **15**, 201–224.
- Haile-Mariam M, Bowman PJ, Goddard ME. 2003. Genetic and environmental relationship among calving interval, survival, persistency of milk yield and somatic cell count in dairy cattle. *Livestock Production Science* **80**, 189–200.
- Hansen LB, Freeman AE, Berger PJ. 1983. Association of heifer fertility with cow fertility and yield in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* **66**, 306–314.
- Harville DA, Mee RW. 1984. A mixed-model procedure for analyzing ordered categorical data. *Biometrics* **40**, 393–408.
- Huang C, Tsuruta S, Bertrand JK, Misztal I, Lawlor TJ, Clay JS. 2008. Environmental effects on conception rates of Holsteins in New York and Georgia. *Journal of Dairy Science* **91**, 818–825.
- International Bull Evaluation Service. (INTERBULL). 2008. Interbull routine genetic evaluation for female fertility traits, August 2008 [webpage on the Internet]. International Bull Evaluation Service, Department of Animal Breeding and Genetics SLU, Uppsala, Sweden; [cited 11 November 2008]. Available from URL: http://www-interbull.slu.se/Female_fert/framesida-fert.htm.
- Jamrozik J, Fatehi J, Kistemaker GJ, Schaeffer LR. 2005. Estimates of genetic parameters for Canadian Holstein female reproduction traits. *Journal of Dairy Science* **88**, 2199–2208.
- Kadarmideen HN, Thompson R, Coffey MP, Kossabati MA. 2003. Genetic parameters and evaluations from single- and multiple-trait analysis of dairy cow fertility and milk production. *Livestock Production Science* **81**, 183–195.
- 家畜改良事業団. 2008. 年度別繁殖成績の推移 [webpage on the Internet]. 社団法人家畜改良事業団. 東京; [cited 19 November 2008]. Available from URL: <http://liaj.lin.go.jp/japanese/kentei/ke058.html>.

- 家畜改良センター. 2007. 乳用牛評価報告 第 27 号. 独立法人家畜改良センター, 福島県.
- 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. 日本畜産学会報 **67**, 463–475.
- Kuhn MT, Hutchison JL, Wiggans GR. 2006. Characterization of Holstein heifer fertility in the United States. *Journal of Dairy Science* **89**, 4907–4920.
- Lucy MC. 2001. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? *Journal of Dairy Science*, 84: 1277–1293.
- Liu Z, Jaitner J, Reinhardt F, Pasman E, Rensing S and Reents R. 2008. Genetic evaluation of fertility traits of dairy cattle using a multiple-trait animal model. *Journal of Dairy Science* **91**, 4333–4343.
- Muir BL, Fatehi J, Schaeffer LR. 2004. Genetic relationships between persistency and reproductive performance in first-lactation Canadian Holsteins. *Journal of Dairy Science* **87**, 3029–3037.
- Nebel RL, McGilliard ML. 1993. Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **76**, 3257–3268.
- Oikawa T, Sato K. 1997. Treating small herds as fixed or random in an animal model. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **114**, 177–183.
- Oseni S, Misztal I, Tsuruta S, Rekaya R. 2003. Seasonality of days open in US Holsteins. *Journal of Dairy Science* **86**, 3718–3725.
- Philipsson J, Banos G, Arnason T. 1994. Present and future uses of selection index methodology in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* **77**, 3252–3261.
- Pryce JE, Royal MD, Garnsworthy PC, Mao IL. 2004. Fertility in the high-producing dairy cow. *Livestock Production Science* **86**, 125–135.
- Smith JW, Legates JE. 1962. Relation of days open and days dry to lactation milk and fat yields. *Journal of Dairy Science* **45**, 1192–1198
- 鈴木三義・光本孝次. 1981. 北海道の乳牛集団における遺伝的パラメーターの推定. 日

本畜産学会報 **52**, 349–353.

Thaller G. 1997. Genetics and breeding for fertility. *Proceedings of The Interbull Bulletin* **18**, 55–61.

Tsuruta S, Misztal I. 2006. THRGIBBS1F90 for estimation of variance components with threshold-linear models. *Proceedings of 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, Brazil, CD-ROM Communication* **27**, 31.

VanRaden PM, Sanders AH, Tooker ME, Miller RH, Norman HD, Kuhn MT, Wiggans GR. 2004. Development of a national genetic evaluation for cow fertility. *Journal of Dairy Science* **87**, 2285–2292.

Veerkamp RF, Koenen EPC, De Jong G. 2001. Genetic correlations among body condition score, yield, and fertility in first-parity cows estimated by random regression models. *Journal of Dairy Science* **84**, 2327–2335.

Wall E, Brotherstone S, Woolliams JA, Banos G, Coffey MP. 2003. Genetic evaluation of fertility using direct and correlated traits. *Journal of Dairy Science* **86**: 4093–4102.

Phenotypic and Genetic Analysis for Reproductive Traits of Holsteins in Hokkaido

Hayato ABE

Master Course of Animal Production and Agricultural Economics
GRADUATE SCHOOL OF OBIHIRO UNIVERSITY

Abstract

Insemination records are needed to calculate reproductive traits. In this study, summarization for reporting rate for those records, estimation of genetic parameters for reproductive traits, investigation of genetic and phenotypic relationships between reproductive and yield traits, and comparison of degree of genetic deterioration and contributions from other factors in reproductive traits were performed.

The reporting rate for insemination records tends to be increasing, but that in heifers were much lower than that in cows. Average reporting rate by herd size and herd average milk yield suggested that the reporting rate in large or high-yielding herds were higher than that in small or low-yielding herds. Also, there were differences in the reporting rates among subprefectures. In view of bringing about change in attitude of farmers, an effort is needed to increase the reporting rate. Summary statistics of reproductive traits by calendar month, subprefecture, or herd size and herd average milk yield were calculated. In all divisions, there were deteriorative phenotypic trends in reproductive traits. From least square analysis, effects of month-year, subprefecture-year, herd size and herd average milk yield were highly significant.

Heritabilities of reproductive traits were generally low. Genetic correlations among reproductive traits were desirable, suggesting that by genetic selection of one reproductive traits, genetic improvement in other reproductive traits will be achieved. But, genetic correlations between reproductive traits in heifers and cows were lower than

those among reproductive traits in cows, so reproductive traits in heifers should not be considered as the same traits. Genetic correlations between reproductive traits in cows and yield traits were antagonistic, implying genetic selection by yield traits has been bringing undesirable correlated response to the reproductive traits. On the other hand, genetic correlations between reproductive traits in heifers and yield traits were not antagonistic, so selection by reproductive traits in heifers will enable the improvement of reproductive performance without loss in genetic progress for the yield traits. However, reproductive traits in heifers are probably closely related to early productive maturity, suggesting that further investigation is needed about relationships between these traits and early productive maturity.

No or slightly desirable genetic trends were observed for reproductive traits in heifers, but there were undesirable genetic trends in reproductive traits in cows. There were large variation in not only breeding values, but also in effect of management group, so reproductive performance may be recovered by better reproduction managements.

But in all analyses, there may be some bias arising from low reporting rate of insemination records in heifers. Therefore, to improve accuracy of analysis for the reproductive traits, and eventually implementation of a genetic evaluation, further increasing of reporting rate of insemination records is strongly needed.

To improve not only reproductive traits but also other functional traits, raising farmers' awareness of better management is essential. Genetic and environmental improvement for the reproductive traits by farmer- or region-wide effort to raise awareness is expected.