

第6章 生涯生産量の環境的および遺伝的トレンドの推定

6-1 緒言

全国的な乳用牛群改良事業は、乳牛個体の能力の向上と酪農経営改善を主な目的として 1974 年度から開始され、1977 年からは、牛群検定データを利用した種雄牛能力評価が開始された。その後、遺伝評価手法およびコンピューター技術の進歩により、1989 年には、より推定精度が高いアニマルモデルを用いた雌雄同時評価が導入された。これらの遺伝評価値を利用した乳用牛に対する遺伝的改良の成果は、年度に対する平均育種価の推移である遺伝的トレンドとして示される。鶴田ら(1990)は、北海道における遺伝的トレンドを推定し、種雄牛および雌牛ともに乳量における平均育種価が増加する傾向であることを報告した。また、近年の全国的な遺伝評価の結果からも、乳量および乳成分量における遺伝的トレンドの増加が報告されている(農林水産省家畜改良センター, 1999)。これらの報告は、1乳期当りに生産された乳量および乳成分量に基づいているが、乳用牛が酪農家に収益をもたらすためには、ある程度長く牛群に留まって高泌乳を持続させることが望ましい。毎日の搾乳および飼養管理の困難さや繁殖障害などによる不本意な淘汰は、経済的に重要な損失である。これらのことから、長命性および生涯生産について関心が持たれるに至った(Harris ら, 1992; Misztal, 1992)。さらに、近年、VanRaden ら(1999)は、次世代における近交係数を予測し、近交が遺伝的トレンドに影響を与える可能性を示唆した。

本章では、生涯乳量の年次にわたる変化について検討するため、近親交配による遺伝分散の偏りおよび近交退化を考慮して、ホルスタイン種における初産乳量、初産分娩後 48 ヶ月および 84 ヶ月までの生涯乳量に関する環境的および遺伝的トレンドを推定することを目的とした。

6-2 材料および方法

データは、社団法人北海道酪農検定検査協会で1975年から1999年に集積された乳検定記録および2,737,646個体からなる血統記録を用いた。乳検定記録は、各産次について分娩後305日までの総乳量が記録され、搾乳日数が305日に満たない場合、搾乳が行われた時点までの合計が示されている。初産記録に関して、分娩月および月齢の効果は、第2章において得られた分娩月および分娩月齢補正のための多項式を用いてあらかじめ補正した。近交係数は、可能な限り世代を溯って計算し、環境的および遺伝的トレンドを推定するモデルに個体の近交係数を考慮した。

長命性および生涯生産量に関する形質は、第4章と同様に定義し、長命性について、在群期間(以下、HLとする)および生産期間(以下、PLとする)を用い、生涯生産量について、PL48(84)乳量、PL48(84)乳脂量、PL48(84)SNF量およびPL48(84)乳蛋白量として表わした。HL84およびPL84に関する形質について、初産分娩後84ヶ月の期間を必要とするため、すべての形質に対して1991年までに初産分娩した個体からの463,931記録のみを分析の対象とした。

分析に用いたモデルを以下に示した。

$$y_{ij} = HY_i + bF_{ij} + u_j + e_{ij}$$

ここで、

y_{ij} ; 分娩月および分娩月齢に関して補正した個体 j の観測値、

HY_i ; i 番目の牛群・年次、

b ; 近交退化を表わす回帰係数、

F_{ij} ; i 番目の牛群・年次における個体 j の近交係数(%),

u_j ; 個体 j の相加的遺伝子効果、

e_{ij} ; 残差である。

近交による遺伝分散の偏りは、第3章に示した方法を用いて補正した。個体の父牛または母牛が不明の場合、不明の両親の平均育種価を仮定した遺伝グループに割りあ

て、血縁行列に含めた(Quaas, 1988). 遺伝率および分散比は、産次別の泌乳記録について、日本国内の泌乳記録に対して Method R を用いた推定値(Suzuki ら, 2000)を使用し、長命性および生涯生産量について、第4章で推定された値を使用した。それらの遺伝率および分散比を表 6-1 に示した。方程式の解は、Misztal ら(1987)の反復法を用いて計算した。

反復ごとの収束基準値は、 $C = \Sigma (u_1 - u_2)^2 / \Sigma u_1^2$ で示した C が、 1.0×10^{-11} 未満になった場合とした。ただし、 u_1 は今ラウンドの解、 u_2 は前ラウンドの解を示す。

表6-1. 分析に用いた遺伝率および分散比¹⁾

形質	初産		48ヶ月		84ヶ月	
	遺伝率	分散比	遺伝率	分散比	遺伝率	分散比
HL ²⁾	-	-	.11	7.81	.14	6.09
PL ³⁾	-	-	.11	8.20	.13	6.70
乳量	.40	1.51	.16	5.44	.15	5.47
乳脂量	.37	1.72	.16	5.07	.16	5.26
SNF量	.37	2.13	.15	5.51	.16	5.39
乳蛋白量	.32	1.73	.15	5.67	.15	5.61

¹⁾残差分散/遺伝分散 ²⁾在群期間 ³⁾生産期間

6-3 結果および考察

6-3-1 年度に対する実測値の変化

1976年から1991年までに分娩した雌個体における各形質の平均値, 標準偏差, 最大値および在群率を表6-2に示した. 産次当たり初産分娩直後から最大305日までとして示したことから, 初産分娩直後の事故等により死亡あるいは淘汰された個体が含まれたため, すべての形質における最小値は, ゼロであった. 84ヶ月に関するすべての形質は, 48ヶ月に関する形質と比較して, その期間が2倍であるにもかかわらず, 大幅な増加でなかった. このことは, 初産分娩後48ヶ月の時点で53.7%が在群していたのに対し, 初産分娩後84ヶ月の時点において13.4%のみの在群にとどまったことに起因した現象であろう.

初産分娩年に対する初産乳量, PL48乳量およびPL84乳量における観測平均の推移を図6-1に示した. 初産乳量の平均値は, 1976年に4929kgであったが, 年度の進行と伴に一貫して増加し, 1991年に6674kgに達した. PL48乳量についても, 初産乳量と同様の増加傾向にあったが, PL84乳量には, 大きな増加が認められなかった.

初産分娩年に対する初産分娩後48ヶ月および84ヶ月までのHLおよびPLの平均値の推移を図6-2に示した. いずれの形質も年度の進行に伴って減少する傾向が認められた. 特に, HL84およびPL84で顕著に減少した. このことは, 初産乳量において増加傾向が認められるにも関わらず, PL84乳量が増加を示さなかったことに関連する事象であると推察した.

表6-2. 1975年から1991年までに初産分娩した雌個体における各形質¹⁾の
標準偏差, 最大値および在群率(個体数;463,931)

	在群率(%)	平均値	標準偏差	最大値
初産				
乳量(kg)		5973	1547	16721
乳脂量(kg)		220	58	668
48ヶ月	53.7			
在群期間(日)		1230	332	1464
生産期間(日)		925	276	1422
乳量(kg)		22411	8573	59556
乳脂量(kg)		837	325	2519
84ヶ月	13.4			
在群期間(日)		1571	668	2562
生産期間(日)		1149	505	2350
乳量(kg)		28618	14875	93846
乳脂量(kg)		1070	562	3841

¹⁾産次あたり最大305日までの総量



図6-1. 初産分娩年に対する初産乳量, 初産分娩後48ヶ月および84ヶ月までの乳量 (PL48乳量およびPL84乳量)の推移.

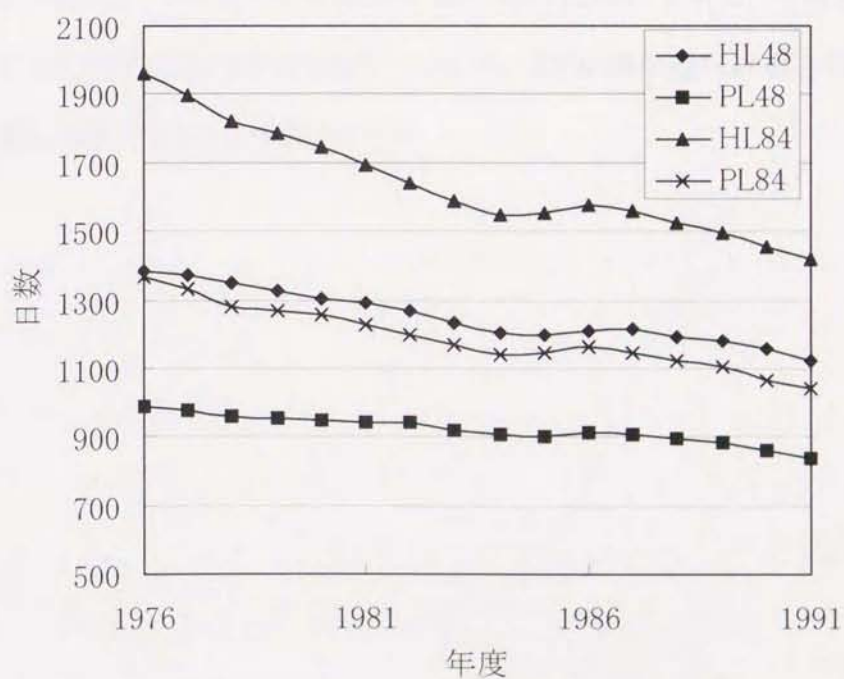


図6-2. 初産分娩年に対する初産分娩後48および84ヶ月までの在群期間(HL48およびHL84)および生産期間(PL48およびPL84)の観測平均の推移

6-3-2 環境的および遺伝的トレンドの推定に個体の近交を考慮することの必要性

初産乳量について、トレンドを推定するモデルに近交を考慮した場合、および近交を考慮しない場合の環境的トレンドの推移を図 6-3 に示した。近交を考慮するか否かにおいても、環境的トレンドの推定値は、各年度一致していた。すなわち、環境的トレンドの推定には、そのモデルに個体の近交を考慮する必要がないと判断される。

いっぽう、初産乳量について近交を考慮した場合および考慮しない場合の遺伝的トレンド推定値の推移を 1985 年をベースとして図 6-4 に示した。遺伝的トレンドの推定値は、1970 年代後半に誕生した個体については、いずれの場合も一致したが、それ以前では、近交係数を考慮した場合にわずかに低い平均育種価が推定された。平均近交係数は、1970 年代、1980 年代および 1990 年代に誕生した雌牛について、それぞれ、0.26%、1.12%および 1.48%であり、年度の進行に伴い増加してことから、近交係数の上昇が遺伝的トレンドの推定値を過小評価させた可能性が推察される。すなわち、このことは、近交が遺伝的トレンドに影響を与える可能性を示唆し、VanRaden ら (1999) の推察を支持した。平均近交係数が年度の進行に伴い上昇し、今後とも、高い近交係数を有する個体が増加するであろうことから、より正確な遺伝評価を行うには、近交係数の影響を考慮することが重要となろう。



図6-3. モデルにおいて近交を考慮した場合, および近交を考慮しない場合の環境的トレンドの推移(初産乳量について)

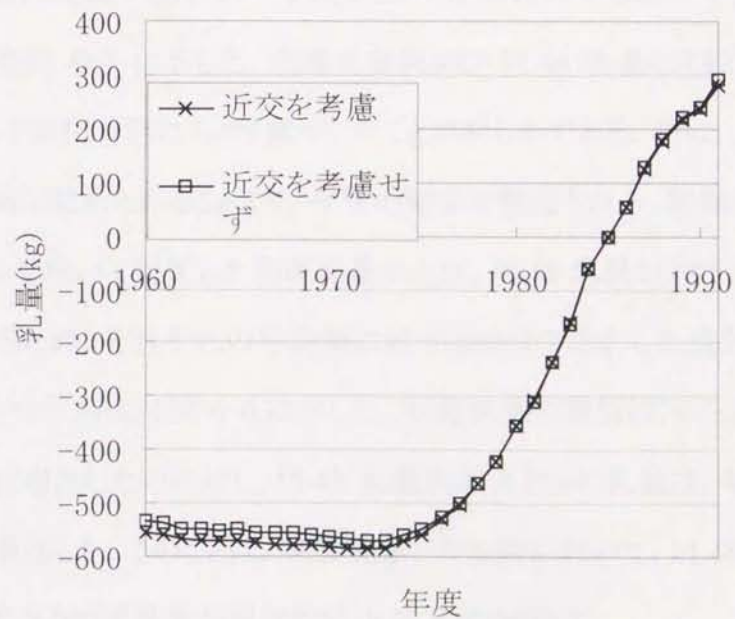


図6-4. モデルに近交を考慮した場合および考慮しない場合の遺伝的トレンド推定値の推移(初産乳量について)

6-3-3 生涯生産形質における環境的および遺伝的トレンドの推移

近交係数を考慮したモデルを用いて推定した初産乳量および、PL48 乳量および PL84 乳量の環境的トレンドの推移を図 6-5 に示した。初産乳量は、実測平均値と同様に増加した。しかし、PL48 乳量については、増加の傾向が認められず、PL84 乳量では、大きく減少した。同様に、近交係数を考慮したモデルを用いて推定した初産乳量および、PL48 乳量および PL84 乳量に対する遺伝的トレンドの推移を 1985 年をベースとして図 6-6 に示した。初産乳量、PL48 乳量および PL84 乳量は、それぞれ、年度の進行に伴って増加した。第 4 章において、初産乳量および生涯生産乳量との間に正の遺伝相関が推定されていることから、生涯生産量の遺伝的トレンドの増加は、産次ごとの生産量に基づく選抜が結果的に生涯生産量の遺伝的トレンドの増加をもたらしたことが推察された。これらのことより、実測値の生涯乳量が年度の進行に対して停滞あるいは減少した原因は、環境的トレンドが停滞あるいは減少したことによると推察された。

近交係数を考慮したモデルを用いて推定した初産乳量および、PL48 乳量および PL84 乳量を相対的に比較するため、それぞれの平均値に対する割合で表わした環境的トレンドの推移を図 6-7 に示した。初産乳量および PL48 乳量と比較して、PL84 乳量の環境的トレンドが相対的に大きく減少したことが明らかである。特に、1986 年以降、急激な減少傾向が認められることより、今後の減少が懸念される。同様に、近交係数を考慮したモデルを用いて推定した初産乳量および、PL48 乳量および PL84 乳量を相対的に比較するため、それぞれの平均値に対する割合で表わした遺伝的トレンドの推移を 1985 年をベースとして図 6-8 に示した。初産乳量の遺伝的トレンドが年度の進行に伴って急激に増加したのに対し、PL48 乳量および PL84 乳量は、年度の進行に伴って緩やかに増加した。このことは、初産乳量との比較において、PL48 乳量および PL84 乳量の年当たりの改良量が相対的に小さいことを示した。

HL48(84)および PL48(84)の環境的トレンドの推移を図 6-9 に示した。HL および PL

に関する環境的トレンドは、いずれも減少する傾向が認められ、特に、HL84 および PL84 において顕著であった。HL48(84)および PL48(84)の遺伝的トレンドの推移を 1985 年をベースとして図 6-10 に示した。HL および PL に関する遺伝的トレンドは、いずれも増加する傾向が認められた。HL および PL の実測値における年度の進行に伴う減少は、環境的トレンドが大きく減少したことによると推察された。

以上より、初産乳量に関する環境的および遺伝的トレンドが増加しているにもかかわらず、生涯乳量の環境的トレンドが増加を示さなかった現象は、主に HL84 および PL84 の環境的トレンドが急激に減少した、すなわち、生産期間の減少に起因するものと推察された。



図6-5. 初産乳量および、初産分娩後48および84ヶ月の乳量(PL48乳量およびPL84乳量)に関する環境的トレンドの推移

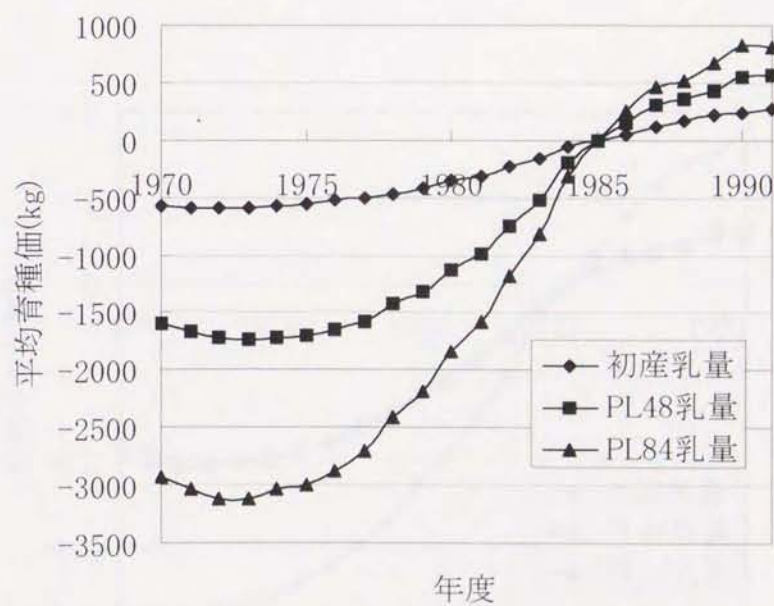


図6-6. 初産乳量および、初産分娩後48および84ヶ月の乳量(PL48乳量およびPL84乳量)に関する遺伝的トレンドの推移

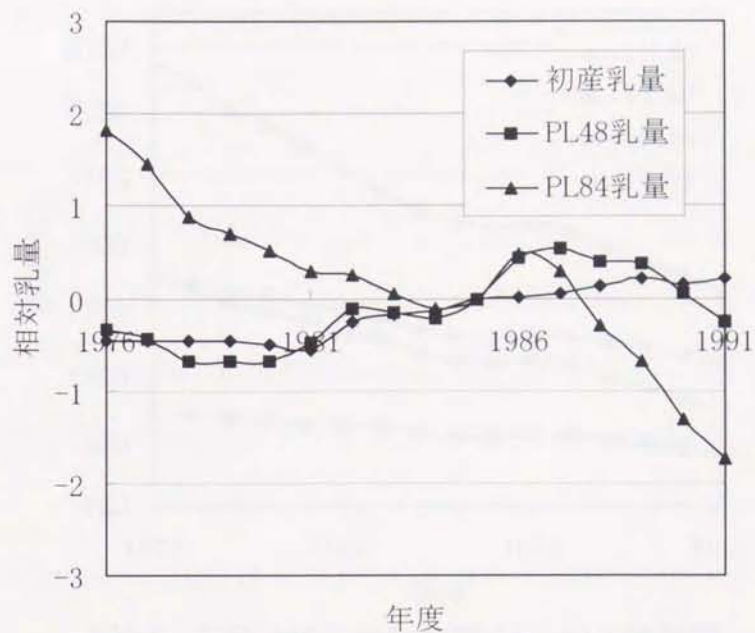


図6-7. 初産乳量および、初産分娩後48および84ヶ月の乳量(PL48乳量およびPL84乳量)に関する相対的な環境的トレンドの推移

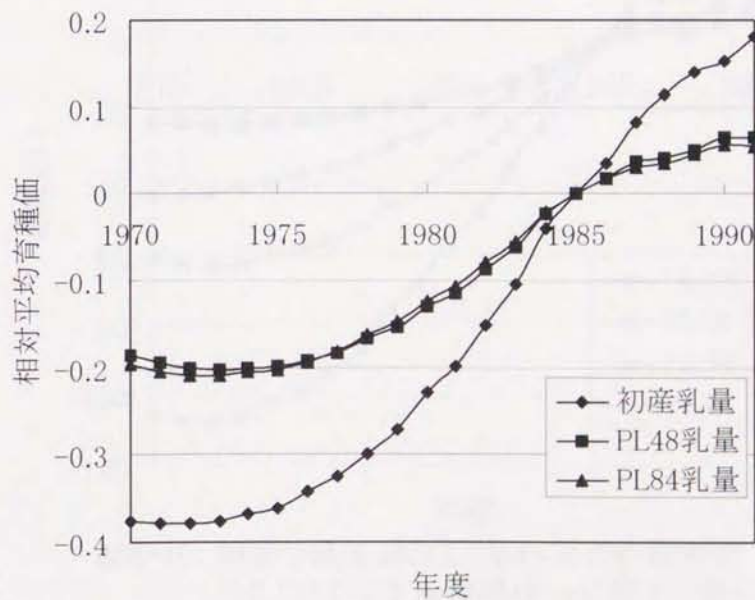


図6-8. 初産乳量および、初産分娩後48および84ヶ月の乳量(PL48乳量およびPL84乳量)に関する相対的な遺伝的トレンドの推移

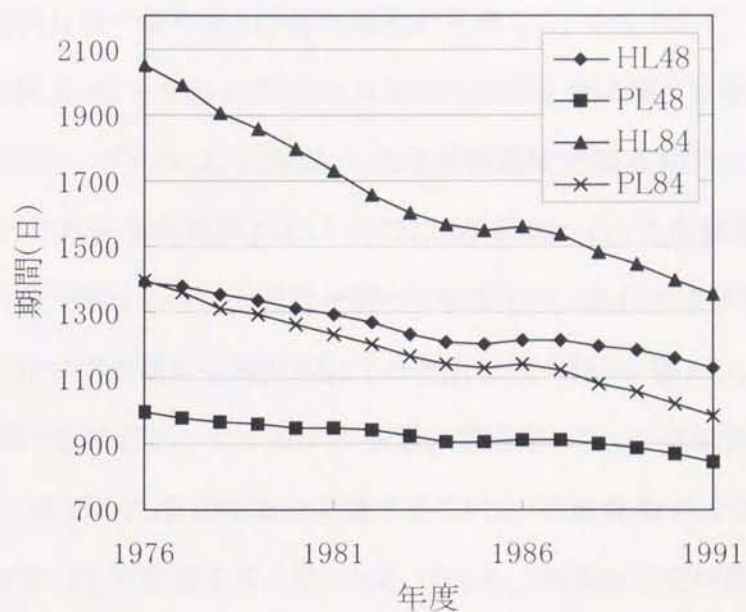


図6-9. 初産分娩後48および84ヶ月の在群期間 (HL)および生産期間(PL)に関する環境的トレンドの推移

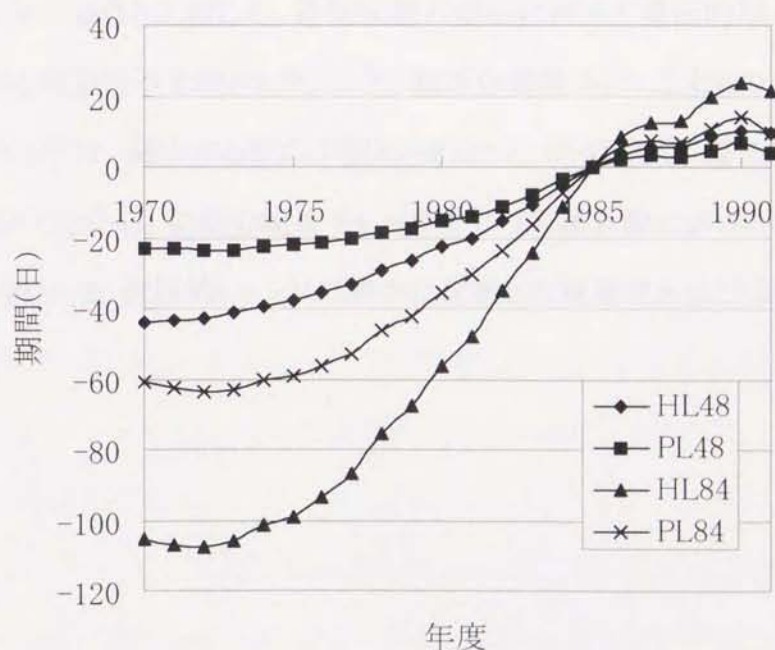


図6-10. 初産分娩後48および84ヶ月の在群期間 (HL)および生産期間(PL)に関する遺伝的トレンドの推移

6-4 要約

近交による遺伝分散の偏りおよび近交退化を考慮して、ホルスタイン種における初産乳量、初産分娩後 48 ヶ月および 84 ヶ月までの生涯乳量に関する遺伝および環境的トレンドを推定した。データは、社団法人北海道酪農検定検査協会で 1975 年から 1999 年に集積された乳検定記録および 2,737,646 個体からなる血統記録を用いた。近交係数は、可能な限りすべての世代を溯って計算した。遺伝および環境的トレンドは、血縁行列において両親の近親交配による遺伝分散の偏りを補正し、さらに個体の近交係数を回帰で含めたアニマルモデルを用いて推定した。近交係数を考慮しない場合と比較して、モデルに近交係数を考慮することは、初産乳量および生涯乳量ともに環境的トレンドに対して影響を与えなかった。しかし、個体の近交係数を考慮した場合、初産乳量において、1970 年以前に近交を考慮しない場合と同程度の平均育種価を示したのに対して、それ以降は、より高い平均育種価が推定された。すなわち、近交係数を考慮しない場合と比較して、近交係数の増加に伴って遺伝的トレンドの推定値を過小評価する可能性が示唆された。また、初産分娩後 84 ヶ月までの生涯乳量に関する環境的トレンドは、減少する傾向が認められたが、いっぽうで、遺伝的トレンドが増加した。これらのことから、初産分娩後 84 ヶ月までの生涯乳量における年度の進行に伴う実測値の減少は、環境的トレンドの減少に起因した現象であることが明らかになった。

第7章 総合考察 —乳用牛の生涯生産量の改善を目的として—

乳の出荷のためには、その品質に対する基準があり、出荷基準を満たすために体細胞数を基準値以下に保たなければならない。前章において、生涯生産量の実測値は、減少傾向にあったが、この減少は、環境的トレンドの減少に起因していたことが明らかにされた。しかしながら、環境的トレンドが減少した原因は、明確でないが、一般に、加齢に伴って乳中の体脂肪数が増加することが原因のひとつと推察される。そのような場合、環境の飛躍的な改善、すなわち、環境的トレンドを増加させることが困難であり、生涯生産量の増加は、遺伝的な改良量の増加により依存することとなる。

酪農家の収益を増加させるためには、生涯生産量に基づく選抜を行うことが望ましい。しかしながら、生涯生産量または長命性のように記録の収集に長期間を必要とする形質の遺伝的改良を行う場合、直接選抜による改良は、世代間隔の増加のため、効果的な改良が期待できない。したがって、それらの形質との遺伝的関連性を利用した間接選抜の利用が考えられる。複数の形質を同時に改良する場合、効率よく改良する方法としては、一般に、選抜指数法が応用される。現在の国内の乳用牛についても例外ではなく、複数の形質に対して重み付けした総合指数と呼ばれる選抜指数が利用されている(家畜改良センター, 1999)。その指数は、生涯生産形質と初産形質との間の関連性が明確でないために、ひとつの解決策として、生産期間の短縮を最小限にとどめるとともに、産次当たり生産量を最大にする(河原, 1998a)ことで個体の生涯生産量の増加を目指して作出したものである。

第4章において初産形質と生涯生産形質間に推定された遺伝相関係数を利用して、多形質モデルによる遺伝評価を応用した場合、生涯生産形質の記録をもたない個体であっても他の形質の遺伝情報を利用して育種価の推定値が得られる。この生涯生産量の育種価に基づく選抜は、現在の選抜方法と比較して、より大きな改良量が期待できるだろう。しかしながら、多形質モデルによる国内の遺伝評価は、記憶装置および

計算量が増加するために、現在のコンピューターの処理能力を考慮すると応用が困難である。そこで、本章では、第4章において得られた遺伝相関係数(付表 4-1)を利用して生涯生産量を増加させるための選抜指数について検討した。

7-1 初産次の泌乳および体型形質に対する主成分分析

本研究で用いた多くの初産形質を形質間に相関関係が存在しない形質に要約するため、第3章において推定された形質間の遺伝相関に基づく主成分分析を行った。初産形質から抽出した主成分の固有値、寄与率および累積寄与率を表 7-1 に示した。寄与率は、第1主成分が 44.5%と極端に大きく、累積寄与率では、上位の4主成分で 87.1%に達した。このことから、第5主成分以下がもつ情報量が微小であると判断し、上位4つの主成分を抽出し、それらの固有ベクトルを表 7-2 に示した。第1主成分は、体積、高さ、強さ、体の深さおよび尻の幅に関する固有ベクトルが大きく、次いで、泌乳形質、乳用牛の特質、乳器および蹄の角度に関する固有ベクトルが大きく推定された。このことから、第1主成分は、主に体の大きさに関する形質であると推察された。第2主成分は、鋭角性および後乳房の幅に関する固有ベクトルが大きく、次いで、泌乳形質、後乳房の高さおよび乳房の深さが大きくなったことより、第2主成分は、乳房の大きさおよび泌乳形質に関連が強い形質であると推察した。第3主成分は、前乳房の付着および前乳頭の配置に関する固有ベクトルが大きく、次いで、乳器、尻の角度、乳房の懸垂および乳房の深さに関する固有ベクトルが大きかった。このことから、第3主成分は、乳房の形状に関する形質を示す形質であると推察された。第4主成分は、尻の角度および後肢側望に関する固有ベクトルが相対的に大きく推定されたことより、第4主成分は、腰骨から後肢の形状に関する形質として要約される。井上(1995)は、ホルスタイン種の線形式体型形質に関する主成分分析により3つの主成分を抽出した結果、不明瞭で解釈が困難な主成分の存在を指摘し、それらが体型審査員の着眼点の分散に起因した現象であると考察した。しかしながら、本研究では、上位の4主成分を抽出したにも関わらず、上記のような極端に不明瞭な主成分が存在しなかった。このことは、本研究での分析が形質間の遺伝相関のみを対象としたことで環境的な要素が除去されて解釈が容易になったためと推察された。泌乳形質に関する固有ベクトルは、第2主成分および第1主成分に関して大きかったことから、初産における形質は、泌乳

形質の他に体の大きさ, 乳房の大きさ, 乳房の形状および腰骨から後肢の形状に大きく分けられ, それらがすべての形質がもつ情報量の 87%を説明すると解釈された. そこで, 各形質に対する4つの主成分の寄与率を表 7-3 に示した. 各形質に対する寄与率の合計は, 後肢側望, 蹄の角度, 後乳房の高さ, 乳房の懸垂および前乳頭の配置についてが 0.80%未満の寄与率であったが, 他の形質では, 上位4つの主成分によってそれらのもつ情報の多くが説明されたことが示唆された.

表7-1. 初産次における形質から抽出した主成分の
固有値, 寄与率および累積寄与率

主成分	固有値	寄与率(%)	累積寄与率(%)
1	9.354	44.5	44.5
2	4.858	23.1	67.7
3	2.975	14.2	81.8
4	1.103	5.3	87.1
5	0.788	3.8	90.9
6	0.601	2.9	93.7
7	0.487	2.3	96.0
8	0.398	1.9	97.9
9	0.235	1.1	99.1
10	0.109	0.5	99.6
11	0.043	0.2	99.8
12	0.027	0.1	99.9
13	0.013	0.1	100.0
14	0.006	0.0	100.0
15	0.002	0.0	100.0
16	0.001	0.0	100.0
17	0.000	0.0	100.0
18	0.000	0.0	100.0
19	0.000	0.0	100.0
20	0.000	0.0	100.0
21	0.000	0.0	100.0

表7-2. 初産次における形質から抽出した4主成分の固有ベクトル

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
初産				
乳量	-0.23	-0.30	-0.06	0.04
乳脂量	-0.25	-0.27	0.02	0.01
SNF量 ¹⁾	-0.24	-0.29	-0.04	0.03
乳蛋白量	-0.24	-0.30	-0.03	0.02
審査得点				
乳用牛の特質	0.24	-0.27	-0.02	0.06
体積	0.30	-0.10	-0.16	-0.09
乳器	0.24	-0.15	0.31	0.13
線形式体型形質				
高さ	0.31	-0.07	-0.11	0.09
強さ	0.31	-0.08	-0.16	-0.07
体の深さ	0.28	-0.16	-0.18	-0.11
鋭角性	0.15	-0.37	-0.01	0.08
尻の角度	-0.15	0.05	-0.33	0.53
尻の幅	0.30	-0.02	-0.15	-0.07
後肢側望	-0.18	0.11	0.02	-0.57
蹄の角度	0.24	0.05	-0.11	-0.31
前乳房の付着	0.15	0.16	0.41	0.24
後乳房の高さ	0.07	-0.29	0.27	0.07
後乳房の幅	0.10	-0.37	0.17	0.00
乳房の懸垂	-0.09	-0.21	0.33	-0.14
乳房の深さ	0.13	0.28	0.31	0.30
前乳頭の配置	0.02	0.05	0.42	-0.24

¹⁾無脂固形分量

表7-3. 各形質に対する4つの主成分の寄与率

	寄与率(%)				全体
	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分	
初産					
乳量	0.51	0.44	0.01	0.00	0.96
乳脂量	0.58	0.36	0.00	0.00	0.94
SNF量 ¹⁾	0.53	0.42	0.00	0.00	0.96
乳蛋白量	0.53	0.43	0.00	0.00	0.96
審査得点					
乳用牛の特質	0.56	0.36	0.00	0.00	0.92
体積	0.86	0.05	0.08	0.01	0.99
乳器	0.55	0.11	0.29	0.02	0.98
線形式体型形質					
高さ	0.88	0.02	0.03	0.01	0.94
強さ	0.88	0.03	0.08	0.01	0.99
体の深さ	0.75	0.12	0.10	0.01	0.99
鋭角性	0.21	0.65	0.00	0.01	0.87
尻の角度	0.21	0.01	0.32	0.31	0.85
尻の幅	0.87	0.00	0.07	0.01	0.95
後肢側望	0.30	0.06	0.00	0.36	0.72
蹄の角度	0.53	0.01	0.04	0.10	0.68
前乳房の付着	0.21	0.12	0.51	0.06	0.90
後乳房の高さ	0.05	0.40	0.22	0.01	0.68
後乳房の幅	0.10	0.66	0.09	0.00	0.84
乳房の懸垂	0.08	0.21	0.32	0.02	0.64
乳房の深さ	0.16	0.37	0.28	0.10	0.92
前乳頭の配置	0.00	0.01	0.53	0.06	0.60

¹⁾無脂固形分量

6-2 生涯生産量と各主成分との遺伝相関

初産形質から推定された4つの主成分と生涯生産形質との間の遺伝相関係数を表7-4に示した。第1主成分と初産分娩後48ヶ月および84ヶ月までの生産形質との間の遺伝相関は、 -0.28 から -0.34 の範囲であった。これは、初産次の生産量に対して正の遺伝相関を示し、体の大きさに対して負の遺伝相関を有すると解釈される。第2主成分と生涯生産量とは、他の主成分との場合に比較して高い遺伝相関が推定された。しかしながら、初産分娩後48ヶ月までの生産量との間に -0.42 から -0.49 の範囲で負の遺伝相関を示したのに対し、初産分娩後84ヶ月までの生産量との間の遺伝相関が -0.29 から -0.34 であり、その絶対値が減少した。このことは、生涯生産形質を定義した期間が長い場合、生涯生産形質に対する初産次の生産量の影響が小さくなることを示している。乳房の形状に関連する形質を表わす第3主成分は、すべての生涯生産形質に対して正の遺伝相関を示した。さらに、第4主成分も、すべての生涯生産形質に対して正の遺伝相関が推定された。また、第2主成分との関連性と異なり、初産分娩後48ヶ月までの生産量との間の遺伝相関よりも初産分娩後84ヶ月までの生産量との間の遺伝相関が増加した。

表7-4. 各主成分と生涯生産形質との間の遺伝相関係数

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
48ヶ月				
乳量	-0.34	-0.49	0.24	0.30
乳脂量	-0.31	-0.42	0.33	0.26
SNF量 ¹⁾	-0.33	-0.48	0.27	0.29
蛋白量	-0.31	-0.42	0.29	0.27
84ヶ月				
乳量	-0.31	-0.34	0.33	0.37
乳脂量	-0.29	-0.29	0.39	0.34
SNF量 ¹⁾	-0.30	-0.33	0.35	0.36
蛋白量	-0.28	-0.32	0.36	0.35

¹⁾無脂固形分量

7-3 生涯生産量の遺伝的改良

それぞれの主成分の間に相関関係がないことから、各主成分と生涯生産形質とに推定された遺伝相関は、初産次に収集される各形質から生涯生産形質の育種価を予測する場合の相対的な重み付けに相当するものであろう。そこで、それぞれの主成分に対して、それらと生涯生産形質との間の遺伝相関係数を乗じ、さらに、表 7-2 に示したそれぞれの主成分を構成する各形質の固有ベクトルを考慮することによって、初産形質を利用して生涯生産形質を近似的に表わす指標となりうる。生涯生産形質の育種価を近似的に予測するための各初産形質の重み付け係数を表 7-4 に示した。各形質の標準偏差を考慮し、表中の重み付けを用いて生涯生産形質の育種価を近似的に予測することが可能である。予測されるそれらの指標は、生涯生産形質を改良するために利用できるであろう。

生涯生産形質の育種価の近似値を交配に利用する場合、一般に、両親の育種価の平均値を算出して後代の遺伝的能力を予測する。その予測値が最大になる組み合わせを選定することで、最も大きな改良量が期待できる。しかしながら、生涯生産形質に対する近交の影響が産次ごとの近交退化量と比較して大きいことが明らかにされ(第 5 章)、その近交退化量が推定されたことから、後代の生涯生産量の遺伝的能力の予測において近交を考慮することが望ましい。酪農家において雌牛に交配させる種雄牛を選定する場合、それらの個体の血統情報を用いて近交係数を算出し、後代の遺伝的能力の予測値から近交退化量を減じることによって、後代の能力をより正確に把握し、適切な選択が可能となるであろう。

表7-4. 生涯生産形質の育種価を近似的に予測するための相対的な重み付け係数

	生涯生産形質(初産分娩後84ヶ月まで)			
	乳量	乳脂量	SNF量 ¹⁾	乳蛋白量
初産				
乳量	0.17	0.15	0.16	0.15
乳脂量	0.18	0.16	0.18	0.17
SNF量 ¹⁾	0.17	0.15	0.17	0.16
蛋白量	0.17	0.15	0.17	0.16
審査得点形質				
乳用牛の特質	0.03	0.02	0.03	0.03
体積	-0.15	-0.15	-0.15	-0.14
乳器	0.13	0.14	0.13	0.14
線形式体型形質				
高さ	-0.08	-0.08	-0.08	-0.07
強さ	-0.15	-0.15	-0.15	-0.14
体の深さ	-0.13	-0.14	-0.14	-0.13
鋭角性	0.10	0.09	0.10	0.10
尻の角度	0.12	0.08	0.10	0.09
尻の幅	-0.16	-0.17	-0.16	-0.16
後肢側望	-0.19	-0.17	-0.18	-0.18
蹄の角度	-0.24	-0.23	-0.24	-0.23
前乳房の付着	0.13	0.15	0.14	0.14
後乳房の高さ	0.19	0.19	0.19	0.19
後乳房の幅	0.15	0.15	0.15	0.15
乳房の懸垂	0.16	0.17	0.16	0.16
乳房の深さ	0.08	0.11	0.09	0.09
前乳頭の配置	0.03	0.06	0.04	0.05

¹⁾無脂固形分量

要 約

酪農家が収益を増加させるためには、飼養する乳用牛が高い乳生産を長期にわたって維持することでその生涯にわたる総生産量を増加させることが重要である。そのためには、産次当たりの生産量を増加させるとともに、生産する期間を増加させることが望ましい。長命性と呼ばれる形質には、低い遺伝率が推定されている。また、初産以降の泌乳を表わす生産期間と生涯生産量の間には、高い遺伝相関が存在することが知られている。さらに、生涯生産量の遺伝率が生産期間のそれをわずかに上回ることが指摘されている。これらのことより、生涯生産量は、長命性と比較して効果的な遺伝的改良が期待できる。本研究は、(社)北海道酪農検定検査協会に集積された乳検定記録、(社)日本ホルスタイン登録協会に集積された体型審査記録およびこれらの血統記録を用い、酪農家における収益の増加に強く関連する形質である生涯生産量の改良を目的とした分析を取りまとめたものである。

1. 生涯生産量における遺伝的パラメータの推定

生涯生産量に対する遺伝的パラメータの推定および他の初産形質間との遺伝的関連性を検討した。分析には、初産次における泌乳記録4形質(乳量、乳脂量、無脂固形分量および乳蛋白量)、体型に関する17形質(乳用牛の特質、体積、乳器、高さ、強さ、体の深さ、鋭角性、尻の角度、尻の幅、後肢側望、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、乳房の深さおよび前乳頭の配置)、長命性4形質(初産分娩後48ヶ月および84ヶ月までの在群期間および生産期間)および生涯生産8形質(初産分娩後48ヶ月および84ヶ月の生産期間内の総乳量、総乳脂量、総無脂固形分量、総乳蛋白量)を用いた。それらの合計33形質を同時に考慮し、EM-REML法を用いた多形質モデルによって遺伝的パラメータを推定した。生涯生産量に関する遺伝率は、初産分娩後48ヶ月および84ヶ月のいずれの形質におい

でも 0.15 から 0.16 の範囲で推定された。初産および初産分娩後 84 ヶ月における生産量間の遺伝相関は、乳量、乳脂量、無脂固形分量および乳蛋白量について、それぞれ、0.53, 0.61, 0.53 および 0.54 であった。乳用牛のサイズに関連する形質である体積、高さ、強さ、体の深さおよび尻の幅は、初産乳量との間の遺伝相関係数が小さく(0.00 から 0.08)推定されたが、初産分娩後 48 ヶ月および 84 ヶ月の総乳量との間には負の遺伝相関係数(-0.14 から-0.30)が推定された。前乳房の付着および乳房の深さは、初産乳量との間に負の遺伝相関係数(-0.03 および-0.21)が推定されたにもかかわらず、初産分娩後 84 ヶ月の総乳量との間に正の遺伝相関係数(0.09 および 0.02)が推定され、さらに、初産分娩後 84 ヶ月の総乳量との間には比較的高い遺伝相関係数(0.22 および 0.20)が推定された。これらのことより、生涯生産量を増加させる目的で選抜を行う場合、産乳能力のみでなく、前乳房の付着および乳房の深さを考慮する必要がある。

2. 生涯生産性に対する近親交配の影響

近親交配が各産次、長命性および生涯生産に対して与える影響について検討した。個体の近交係数は、可能な限り世代を溯って計算した。生産性に対する近親交配の影響は、血縁行列において両親の近交係数を考慮し、さらに個体の近交係数を回帰で含めたモデルにより推定した。近交係数をもつ個体は、1970 年から 1985 年にかけて急激に増加し、1995 年に誕生した雌個体における近交個体の割合は、全体の 98%であった。集団の平均近交係数も同様に増加し、1995 年に誕生した雌個体における平均近交係数は、2.4%に達した。近交退化を推定するモデルについて、遺伝的トレンドの上昇と近交係数の増加が同時に起こり、それらの間に相関が生じた場合、母数モデルでは、遺伝的トレンドの影響を完全に分離することができなかった。それ故に近交退化の効果を正確に推定するためには、個体の効果を考慮することが望ましいと判断された。近交退化は、生涯生産について累積されることが明らかであり、よ

り大きな影響をもたらすことが示唆された。初産分娩後 84 ヶ月の期間における近交退化量は、初産乳量に対するそれのおよそ2倍以上に相当した。

3. 生涯生産量の環境的および遺伝的トレンドの推定

近親交配による遺伝分散の偏りおよび近交退化を考慮して、ホルスタイン種における初産乳量、初産分娩後 48 ヶ月および 84 ヶ月までの生涯乳量に関する遺伝および環境的トレンドを推定した。遺伝および環境的トレンドは、血縁行列において両親の近親交配による遺伝分散の偏りを補正し、さらに個体の近交係数を回帰で含めたアニマルモデルを用いて推定した。近親交配を考慮しない場合と比較して、モデルに近親交配を考慮した場合には、初産乳量および生涯乳量ともに環境的トレンドに対して影響を与えなかった。しかし、近親交配を考慮した場合、初産乳量において 1970 年以降では、考慮しない場合と同程度の平均育種価が推定されたのに対して、それ以前ではより低い平均育種価が推定された。すなわち、近親交配を考慮しない場合と比較して、近交係数の増加に伴って遺伝的トレンドの推定値を過小評価する可能性が示唆された。また、初産分娩後 84 ヶ月までの生涯乳量に関する環境的トレンドは、減少する傾向が認められたが、いっぽうで、遺伝的トレンドが増加した。これらのことより、生涯乳量における年度の進行に伴う実測値の減少は、環境的トレンドの減少に起因した現象であると推察された。

4. 生涯生産量の遺伝的改良

初産における遺伝形質は、泌乳形質の他に体の大きさ、乳房の大きさ、乳房の形状および腰骨から後肢の形状に大きく分けられ、それらがすべての遺伝形質がもつ情報量の 87%を説明すると解釈された。これらの各主成分と生涯生産形質とに推定された遺伝相関は、初産次に収集される各形質から生涯生産形質の育種価を予測する場合の相対的な重み付けに相当するものであろう。これらの重み付けを利用して算

出した指標は、初産次の形質を用いて生涯生産形質を近似的に表わすであろう。生涯生産形質の育種価の近似値を交配に利用する場合、一般に、両親の育種価の平均値を算出して後代の遺伝的能力を予測する。その予測値が最大になる組み合わせを選定することで、最も大きな改良量が期待できる。しかしながら、生涯生産形質に対する近交の影響が産次ごとの近交退化量と比較して大きいことが明らかにされ、その近交退化量が推定されたことから、後代の生涯生産量の遺伝的能力の予測において近交を考慮することが望ましい。酪農家において雌牛に交配させる種雄牛を選定する場合、それらの個体の血統情報を用いて近交係数を算出し、後代の遺伝的能力の予測値から近交退化量を減じることによって、後代の能力をより正確に把握し、適切な選択が可能となるであろう。

謝 辞

本研究を実施する機会を与えていただくと共に、その過程において、主指導教官として細部にわたって終始的確なご教示・ご指導いただき、さらに、本論文の作成に当たり、詳細な校閲を賜った帯広畜産大学家畜管理学科(家畜育種学研究室)の鈴木三義教授に深く感謝を捧げます。

本論文の作成に当たり、丁寧な校閲と有益なご指導を賜った山形大学農学部 of 萱場猛夫教授ならびに岩手大学農学部の高橋壽太郎教授に心より感謝いたします。

帯広畜産大学家畜管理学科(家畜育種学研究室)の三好俊三教授ならびに口田圭吾助手には、本研究を実施する過程および本論文の作成において、多岐にわたってご指導いただきました。ここに、厚くお礼申し上げます。

社団法人北海道ホルスタイン農業協同組合の河原孝吉博士ならびに社団法人北海道酪農検定検査協会の職員諸氏には、データの作成および提供いただいたことを深謝いたします。

米国ジョージア大学の I. Misztal 博士ならびに鶴田彰吾博士には、本研究を実施する過程において、ご助言いただくと共に種々の分析プログラムを提供していただきました。ここに記して、深謝いたします。

株式会社十勝家畜人工授精所の代表取締役吉川広司氏ならびに職員諸氏には、本研究に当たり、ご理解・便宜を賜ったこと、感謝いたします。

最後に、本研究の過程において、度重なるご協力をいただいた岩手大学大学院連合農学研究科(帯広畜産大学)の J. A. C. Pereira 氏をはじめ、帯広畜産大学家畜管理学科(家畜育種学研究室)の学生諸氏に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) Freeman, A. E. (1973) Age adjustment of production records : History and basic problem. *J. Dairy Sci.* , 56:941-946.
- 2) 萩谷功一・鈴木三義・ファン アントニオ ペレイラ・河原孝吉. (2000) ホルスタイン種における線形形質スコアのクラス分けが遺伝的パラメータの推定に及ぼす影響. *北畜会報*, 42:55-61.
- 3) Hansen, L. B. , J. B. Cole, G. D. Marx, and A. J. Seykora. (1999) Productive life and reasons for disposal of Holstein cows selected for large versus small body size. *J. Dairy Sci.* , 82:795-801.
- 4) Harris, B. L. , A. E. Freeman, and E. Metzger. (1992) Analysis of herd life in Guernsey dairy cattle. *J. Dairy Sci.* , 75:2008-2016.
- 5) 井上嘉明. (1995) 乳用牛の体型審査が泌乳能力の向上に貢献する可能性について. 卒業論文. 帯広畜産大学.
- 6) Jairath, L. K. , J. F. Hayes, and R. I. Cue. (1994) Multitrait restricted maximum likelihood estimates of genetic and phenotypic parameters of lifetime performance trait of Canadian Holsteins. *J. Dairy Sci.* , 77:303-312.
- 7) Jairath, L. K. , J. F. Hayes, and R. I. Cue. (1995) Correlations between first lactation and lifetime performance trait of Canadian Holsteins. *J. Dairy Sci.* , 78:438-448.
- 8) 河原孝吉・萩谷智史・中田稔・鈴木三義・光本孝次. (1994) 線形式体型形質におけるホルスタイン種雄牛集団の遺伝的パラメータの推定. *日畜会報*, 65:1051-1056.
- 9) 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.

- 10) 河原孝吉. (1998a) 北海道のホルスタイン集団における体型審査形質の育種的研究. pp. 117-138. 博士論文. 岩手大学.
- 11) 河原孝吉. (1998b) 乳牛の育種における体型審査形質および長命性の利用. 北畜会報, 40:1-8.
- 12) Klassen, D. J. , H. G. Monardes, L. Jairath, R. I. Cue, and J. F. Hayes. (1992) Genetic correlations between lifetime production and linearized type in Canadian Holsteins. *J. Dairy Sci.* , 75:2272-2282.
- 13) Lee, A. J. (1974) Month, year, and herd effects on age adjustment of first lactation milk yield. *J. Dairy Sci.* , 57:332-338.
- 14) Mao, I. L. , E. B. Burnside, J. W. Wilton, and M. G. Freeman. (1974) Age-month adjustment of Canadian dairy production record. *Can. J. Anim. Sci.* , 54:533-541.
- 15) Miglior, F. , and E. B. Burnside. (1995) Inbreeding of Canadian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* , 78:1163-1167.
- 16) Miglior, F. , and E. B. Burnside. (1995) Nonadditive genetic effects and inbreeding depression for somatic cell counts of Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* , 78:1168-1173.
- 17) Miller, P. D. , W. E. Lentz, and C. R. Henderson. (1970) Joint influence of month and age of calving on milk yield of Holstein cows in the northeastern United States. *J. Dairy Sci.* , 53:351-357.
- 18) Miller, P. D. (1973) A resent study of age adjustment. *J. Dairy Sci.* , 56: 952-958.
- 19) Misztal, I. , and D. Gianola. (1987) Indirect solution of mixed model eqations. *J. Dairy Sci.* , 70:716-723.
- 20) Misztal, I. , T. J. Lawlor, T. H. Short, and P. M. VanRaden. (1992)

- Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model. *J. Dairy Sci.* , 75:544-551.
- 21) Misztal, I. , K. Weigel, and T. J. Lawlor. (1995) Approximation of estimations of (co)variance components with multiple-trait restricted maximum likelihood by multiple diagonalization for more than one random. *J. Dairy Sci.* , 78: 1862-1872.
- 22) Nakamura, A. , I. Shoji, and H. Shimizu. (1997) Comparative study on simple fuzzified selection criterion in controlling inbreeding. *Anim. Sci. Technol. (Jpn.)* , 68:1065-1069.
- 23) 農林水産省家畜改良センター. (1996) 家畜改良センター乳用牛評価報告. 第8号. pp. 65-67. 農林水産省家畜改良センター発行. 福島県.
- 24) 農林水産省家畜改良センター. (1999) 家畜改良センター乳用牛評価報告. 第14号. pp. 24-28. 農林水産省家畜改良センター発行. 福島県.
- 25) 大宮寛子. (2000) Method Rによる遺伝的パラメータの推定. 卒業論文. 帯広畜産大学.
- 26) Pereira, J. A. C. (1999) Empirical Bayes approach for fitting the Wood's lactation curve in dairy cattle. 修士論文. 帯広畜産大学.
- 27) Quaas, L. R. (1988) Additive genetic model with groups and relationships. *J. Dairy Sci.* , 71:1338-1345.
- 28) Reverter, A. , B. L. Golden, and R. M. Bourden. (1994) Method R variance components procedure : Application on the simple breeding value model. *J. Dairy Sci.* , 72:2247-2253.
- 29) Rogers, G. W. , B. T. McDaniel, M. R. Dentine, and D. A. Funk. (1989) Genetic correlations between survival and linear type traits measured in first lactation. *J. Dairy Sci.* , 72:523-527.

- 30) Rogers, G. W. , G. L. Hargrove, J. B. Cooper, and E. P. Barton. (1991) Relationships among survival and linear type traits in Jerseys. *J. Dairy Sci.* , 74: 286-291.
- 31) Rogers, G. W. , G. Banos, and U. Sander-Nielsen. (1999) Genetic correlations among protein yield, productive life, and type traits from the United States and diseases other than mastitis from Denmark and Sweden. *J. Dairy Sci.* , 82:1331-1338.
- 32) Rupp, R. , and D. Boichard. (1999) Genetic parameters for clinical mastitis, somatic cell score, production, udder type traits, and milking ease in first lactation Holsteins. *J. Dairy Sci.* , 82:2198-2204.
- 33) Schaeffer, L. R. , and C. R. Henderson. (1972) Effects of days dry and days open on Holstein milk production. *J. Dairy Sci.* , 55:107-112.
- 34) Schneider, M. Del P. , H. G. Monardes, and R. I. Cue. (1999) Effects of type traits on functional herd life in Holstein cows. *Proc. 21: pp. 111-116 in INTERBULLMtg. Int. Bull Eval. Serv.* , Uppsala, Sweden.
- 35) Short, T. H. , T. J. Lawlor, and R. W. Everett. (1992a) Inbreeding in the US Holsteins and its effect on yield and type traits. *J. Dairy Sci.* , 71(Suppl. 1):154. (Abstr.).
- 36) Short, T. H. , and T. J. Lawlor. (1992b) Genetic parameters of conformation traits, milk yield ; herd life in Holsteins. *J. Dairy Sci.* , 75:1987-1998.
- 37) 新城明久. (1992) 動物遺伝育種学入門, pp. 167-201. 川島書店発行. 東京都.
- 38) Smith, L. A. , B. G. Cassel, and R. E. Pearson. (1998) The effect of inbreeding on the lifetime performance of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* , 81: 2729-2737.

- 39) 社団法人家畜改良事業団. (1995) 乳牛の総合的遺伝評価のための基礎分析.
社団法人家畜改良事業団発行. 東京都.
- 40) 鈴木三義・光本孝次. (1976) 搾乳量フィールドデータの部分記録の拡張における産次と季節の効果. 日畜会報, 47:632-638.
- 41) 鈴木三義・臼田加代・光本孝次. (1983) 北海道におけるホルスタイン種雄牛の泌乳量に対する分娩年齢および季節の影響. 日畜会報, 54:314-319.
- 42) Suzuki, M. , and L. D. Van Vleck. (1994) Heritability and repeatability for milk production traits of Japanese Holsteins from an animal model. J. Dairy Sci. , 77: 583-588.
- 43) Suzuki, M. , T. Kawahara, and Y. Ikeuchi. (1996) Genetic parameters of production and type traits, and productive life in Japanese Holstein. The 8th AAAP Anim. Sci. Congr. Proc. Vol. 2:pp. 400-401.
- 44) Suzuki, M. , K. Hagiya, J. A. C. Pereira, and T. Yoshizawa. (2000) Method R estimates of heritability and repeatability for milk, fat, and protein yields of Japanese Holstein cows. J. Dairy Sci. , 83(Suppl. 1):50. (Abstr.).
- 45) 鶴田彰吾・鈴木三義・光本孝次. (1990) 北海道の乳用牛群検定記録における種雄牛と雌牛の同時評価による遺伝的および環境的トレンドの推定. 日畜会報, 61:1051-1056.
- 46) Van Doormaal, B. J. , L. R. Schaeffer, and B. W. Kennedy. (1985) Estimation of genetic parameters for stayability in Canadian Holsteins. J. Dairy Sci. , 68: 1763-1769.
- 47) VanRaden, P. M. , and L. A. Smith. (1999) Selection and mating considering expected inbreeding of future progeny. J. Dairy Sci. , 82:2771-2778.
- 48) Villanueva, B. , J. A. Wooliams, and G. Simm. (1994) Strategies for controlling rates of inbreeding in MOET nucleus schemes for beef cattle. Genet.

- Sel. Evol. , 26:517-535.
- 49) Vollema, A. R. , and A. F. Groen. (1996) Genetic parameters for milk yield, survival, workability, and type traits for Australian dairy cattle. J. Dairy Sci. , 79:2261-2267.
- 50) Vollema, A. R. (1998) Longevity of dairy cows : A review of genetic variances and covariances with conformation. Anim. Breeding Abst. , 66:781-802.
- 51) Vukasinovic, N. , J. Moll, and N. Ku nzi. (1995) Genetic relationships among longevity, milk production, and type traits in Swiss Brown cattle. Livestock prod. Sci. , 41:11-18.
- 52) 和田康彦・池内豊・松本成生・小畑太郎. (1996) アニマルモデルを用いたわが国のホルスタイン種の体型審査形質の遺伝的パラメータの推定. 畜産試験場研究報告, 57:1-6.
- 53) Weigel, D. J. , B. G. Cassell, I. Hoeschele, and R. E. Peason. (1995) Multiple-trait prediction of transmitting abilities for herd life and estimation of economic weights using relative net income adjusted for opportunity cost. J. Dairy Sci. , 78:639-647.
- 54) Weigel, K. A. , T. J. Lawlor, Jr. , P. M. VanRaden, and G. R. Wiggans. (1998) Use of linear type and production data to supplement early predicted transmitting abilities for productive life. J. Dairy Sci. , 81:2040-2044.
- 55) Wiggans, G. R. , P. M. VanRaden, and J. Zuurbier. (1995) Calculation and use of inbreeding coefficients for genetic evaluation of United States dairy cattle. J. Dairy Sci. , 78:1584-1590.
- 56) Young, C. W. (1984) Inbreeding, and the gene pool. J. Dairy Sci. , 67: 472-477.