

ホルスタイン種牛における機能的長命性と体型形質の関連

河原 孝吉・鈴木 三義*・池内 豊**

社団法人北海道乳牛検定協会, 札幌市中央区 060

* 帯広畜産大学, 帯広市 080

** 農林水産省家畜改良センター, 福島県西郷村 961

Relationship of Functional Longevity with Type Traits in Holsteins

Takayoshi KAWAHARA, Mitsuyoshi SUZUKI* and Yutaka IKEUCHI**

Hokkaido Dairy Cattle Milk Recording Association, Chuo-ku,
Sapporo-shi 060

* Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine,
Obihiro-shi 080

** National Livestock Breeding Center, Nishigo-mura,
Fukushima-ken 961

キーワード : 機能的長命性, 体型形質, 在群期間, 生産期間

Key words : functional longevity, type traits, herd life, productive life

要 約

本分析では、牛群検定および牛群審査の記録を用いて、機能的長命性（産乳量の影響を除去した長命性）と表型的な体型形質値との関連性を調査するために50,332頭、遺伝的な体型形質値との関連性には47,067頭の各々初産雌牛記録を使用した。長命性に大きく影響する要因は産乳量であり、それと比較して体型形質の影響は小さなものであった。機能的長命性と比較的關係が認められた体型形質は、表型的ならびに遺伝的にも乳房および乳房に関する形質であった。乳房に関する形質の中で、乳房の深さは乳房と同程度の割合で機能的長命性の変動を説明し、それらは2次曲線的な関連性があった。体の大きさおよび肢蹄に関する形質では、回帰係数が統計学的に有意であったが、機能的長命性の変動を説明する割合は低かった。

緒 言

乳牛の収益性を向上させるためには、高い産乳能力とある程度牛群に留まり生乳生産を続けることが重要である(河原ら, 1996)。このことから、産乳能力のみならず在群期間 (herd life) および生産期間 (productive life) のような長命性に関連する形質は、乳牛にとって経済的に価値のある形質といえる。産乳能力を遺伝的に改良する場合は、牛群検定の記録を使用して

初産分娩後からすぐに測定値が得られるため直接選抜が可能だが、長命性は雌牛が牛群から除籍されるまで判断できないため世代間隔が長くなり、加えて遺伝率が低く推定される傾向にあることから(HARRIS *et al.*, 1992; 河原ら, 1996; SHORT and LAWLOR, 1992), 長命性を若齢期に予測できる形質を特定し、間接的に選抜する試みがなされている。長命性と産乳能力の間には高いから中程度の正の遺伝相関が認められる(河原ら, 1996; SHORT and LAWLOR, 1992) ので、産乳能力の選抜によって間接的に長命性も改良されることが予測される。しかし、長命性に影響する要因は産乳能力のみならず、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り淘汰される場合の影響も推測される。特に、産乳能力が高いにもかかわらずこのような故障で本意に淘汰せざるをえない場合は、経済的に重要な損失といえる。このような酪農家にとって不本意な淘汰を示す形質としては、産乳能力の影響を除去した長命性、すなわち機能的長命性(functional longevity) と呼ばれる概念が欧米の研究で用いられている(BURKE and FUNK, 1993; DUCROCQ *et al.*, 1988; HARRIS *et al.*, 1992)。さらに、体型形質は、牛群審査の普及により初産期の段階で測定可能な形質であり、機能的長命性との関係が明らかになれば、より早い時期にこれらの体型形質を利用した選抜淘汰が可能になる。しかしながら、わが国におけるホルスタイン集団の機能的長命性と体型形質との関連性を扱った報告は少ない。本研究の目的は、機能的長命性と体型形質と

の関連性を調査し、体型形質の利用価値について検討することである。

材料および方法

分析には、1993年秋の乳用牛遺伝評価のために農林水産省家畜改良センターで集積された記録を使用した。初めに表型的な体型形質値と機能的長命性の関連性を調査するために、牛群検定および牛群審査記録を用いて、河原ら(1996)の報告と同様に記録を編集し、雌牛50,332頭の初産時における体型と産乳記録および72ヵ月齢で区切られた長命性に関する記録(データセットIと呼ぶ)を得た。ただし、乳タンパク質量の欠測値を持つ個体でも分析に使用したため、前報よりも記録数が多くなっている。次に、遺伝的な体型形質値との関連性の調査には、これらの雌牛の内、家畜改良センターで体型形質の育種価が推定されている47,067頭の記録(データセットIIと呼ぶ)を使用した。分析では、まず長命性に大きな影響を及ぼす産乳量の要因を除去する目的で基本となるモデルを作成した。

$$y_{ij} = \mu + HY_i + b_A A_{ij} + b_{M1}(M_{ij} - \bar{M}_i) + b_{M2}(M_{ij} - \bar{M}_i)^2 + b_{F1}(F_{ij} - \bar{F}_i) + b_{F2}(F_{ij} - \bar{F}_i)^2 + e_{ij}$$

ここで、 y_{ij} は河原ら(1996)が示した長命性に関する生産期間72、生産期間72(305)および在群期間72の3形質である。生産期間72は、72ヵ月齢の時点で在群していれば72ヵ月齢まで、除籍されていけば除籍日までのすべての乳期の搾乳日数を合計した値である。ただし、生産期間72(305)は、各乳期において305日以上搾乳日数がある場合、その日数を305日とし合計した値である。在群期間72は、72ヵ月齢の時点で在群していれば初産分娩から72ヵ月齢まで、除籍されていけば初産分娩から除籍日までの月数を合計した値である。 μ は集団の平均である。 HY_i はi番目の初産分娩した牛群年次サブクラスの効果であり、計算の過程で吸収された。 A_{ij} は、i番目牛群年次におけるj番目個体の初産分娩月齢である。 $(M_{ij} - \bar{M}_i)$ はi番目牛群年次に属するj番目個体の成牛換算補正された初産乳量とi番目牛群年次の成牛換算補正された初産乳量の平均値との差(牛群偏差乳量)、同様に、 $(F_{ij} - \bar{F}_i)$ は

牛群偏差乳脂量である。 b_A 、 b_{M1} 、 b_{M2} 、 b_{F1} および b_{F2} は各独立変数に対応する回帰係数を示す。 e_{ij} は残差の効果を示す。次に、本分析では初産の産乳能力と初産分娩月齢の影響を除去した長命性を機能的長命性と定義し、機能的長命性に対する体型形質の線形および非線形的な関連性を調査するために、各体型形質の1次($b_{k1}T_{ijk}$)と2次($b_{k1}T_{ijk} + b_{k2}T_{ijk}^2$)の回帰式を上記の基本モデルに付加したモデルを作成した。ここで、 T_{ijk} はi番目牛群年次に属するj番目個体の体型形質kの審査月齢・泌乳ステージ補正值(表型的な体型形質値)または育種価(遺伝的な体型形質値)、 b_{k1} と b_{k2} は体型形質kの一次と二次の回帰係数である。ここで使用した体型形質は、決定得点とそれを構成する体型4区分(一般外貌、乳用牛の特質、体積および乳器)、さらに14の線形式体型形質を加え、合計19の形質である。なお、牛群年次は表型的な関連性の調査に関して10,133、遺伝的な関連性を調査するために9,802のサブクラスに分類された。以上の分析にはSASのGLMを使用した(SAS/STAT ユーザーズガイド)。

結果および考察

本分析に使用した長命性の形質に関して、生産期間72、生産期間72(305)および在群期間72の3形質に限定した理由は、前報(河原ら, 1996)で示されたように72ヵ月齢の各形質の遺伝率が48と60ヵ月齢の形質と比較して高いことから長命性の遺伝的変異を多く説明できること、さらに48と60ヵ月齢の形質と比較し産乳および体型形質との遺伝相関が低い傾向にあるが、相関反応に大きな違いが認められるほどの傾向ではなかったからである。牛群年次の効果、初産分娩月齢の1次回帰係数および成牛換算補正された牛群偏差乳量と乳脂量の1次と2次の回帰係数の各々の値は、長命性に関連する3形質に対してすべて1%水準の有意な影響が認められた(表1)。初産分娩月齢の1次回帰係数は負の値が推定されたことから、長命性に関連する3形質は初産分娩月齢が低い個体ほど上昇する傾向にある。成牛換算補正された牛群偏差乳量と牛群偏差乳脂量の標準偏差は、各々1,172 kgおよび44 kgであった。牛群偏差乳量に対する生産期間72、生産期間

表1 初産分娩月齢、牛群偏差乳量および牛群偏差乳脂量に対する生産期間72、生産期間72(305)および在群期間72の1次と2次の回帰係数^{1,2)}(データセットI, 50,332記録を使用)

形 質	生産期間72(日)		生産期間72(305)(日)		在群期間72(月)	
	1次	2次	1次	2次	1次	2次
初産分娩月齢	-17.505		-17.688		-0.716	
牛群偏差乳量	0.028	-0.459×10 ⁻⁵	0.011	-0.477×10 ⁻⁵	0.789×10 ⁻³	-0.163×10 ⁻⁶
牛群偏差乳脂量	0.863	-0.496×10 ⁻²	0.702	-0.516×10 ⁻²	0.031	-0.187×10 ⁻³

- 1) 牛群・年次、初産分娩月齢、牛群偏差乳量および牛群偏差乳脂量に対する生産期間72、生産期間72(305)および在群期間72の各モデルの決定係数は、各々33.28、30.61および30.82%である。
- 2) 回帰係数は、すべて統計学的な有意(P<0.01)を示した。

72 (305) および在群期間 72 の 2 次曲線的関係は、牛群偏差乳量が各々 3,050, 1,153 および 2,420 kg で最大値 (変曲点) を示すことから、標準偏差の範囲において牛群偏差乳量の上昇にともない長命性の上昇傾向が認められた。さらに、牛群偏差乳脂量に対する生産期間 72、生産期間 72 (305) および在群期間 72 の 2 次曲線的関係は、牛群偏差乳脂量が各々 87, 68 および 83 kg で最大値を示すことから、牛群偏差乳量と同様な傾向が認められた。産乳能力が高い個体ほど在群期間および生産期間が長くなる傾向は、北米地域の乳牛集団を用いて報告された結果と一致している (BURKE and FUNK, 1993; DEKKERS *et al.*, 1994)。長命性に関連する 3 形質の変動は、基本モデルに含めた要因により、決定係数で約 31 から 34% を説明できることが判明した (表 1 から 3)。BURKE and FUNK (1993) は、牛群年次のサブクラスではなく牛群の効果を考慮することにより類似したモデルによって在群期間の変動を 18% 説明できることを報告している。本分析の予備調査において、牛群の効果をこのモデルに加えた場合、同様にして約 18% の変動しか説明できないことを確認している。本分析では、より決定係数の高いモデルを設定するため牛群年次のサブクラスを採用した。

表 2 には、審査月齢と泌乳ステージで補正された各

体型形質に対する生産期間 72、生産期間 72 (305) および在群期間 72 の 1 次と 2 次の回帰係数を示した。これらの回帰係数は、産乳能力の影響を除去した場合の長命性、すなわち機能的長命性と表型的な体型記録との関係を説明している。また、 R^2 は、各体型形質をモデルに含めた場合の増加量 (Marginal R^2) を示している。この決定係数の増加量は、すべての体型形質に関して 1% 以下であり、長命性の変動を説明する割合が産乳量と比較し、小さいことを示唆している。その中でも、乳器は、決定係数の増加量が 0.61 から 0.75% の範囲で機能的長命性の変動を説明する割合が高かった。線形形質の乳房に関連する形質では、乳房の深さにおいて決定係数の増加量が 0.55 から 0.63% の範囲で機能的長命性の変動を説明する割合がもっとも高く、有意 ($P < 0.01$) な 2 次曲線の関連性が認められた。反対に後乳房の幅は、有意 ($P < 0.01$) な回帰係数が得られたものの機能的長命性の変動を説明する割合が比較的低かった。肢蹄に関連する形質では、後肢側望において有意 ($P < 0.01$) な 2 次曲線の関係が認められたが、決定係数の増加量から機能的長命性の変動を説明する割合は低いものと推察される。蹄の角度は直線の回帰で有意性が認められなかったが、2 次回帰を付加することにより 1 次回帰係数が 5% 有意を示

表 2 初産時の各体型形質値 (審査月齢・泌乳ステージ補正済) に対する初産分娩月齢、牛群偏差乳量および牛群偏差乳脂量の影響を除去した生産期間 72、生産期間 72 (305) および在群期間 72 の 1 次と 2 次の回帰係数 (データセット I, 50,332 記録を使用)

形 質	生産期間72 (日)			生産期間72 (305) (日)			在群期間72 (月)		
	R^2	1次	2次	R^2	1次	2次	R^2	1次	2次
決定得点	0.30	15.63**		0.39	16.70**		0.45	0.735**	
一般外貌	0.19	9.72**		0.25	10.53**		0.32	-3.300*	0.023**
乳用牛の特質	0.11	8.44**		0.14	8.72**		0.28	0.410**	
体積	0.01	-0.93		0.01	0.56		0.00	0.062*	
乳器	0.61	18.01**		0.70	18.20**		0.75	0.768**	
高さ	0.01	-0.47		0.01	-0.13		0.00	0.010	
強さ	0.01	-0.78*		0.01	-0.30		0.00	0.005	
体の深さ	0.04	-2.10**		0.05	7.00*	-0.18**	0.01	-0.041*	
鋭角性	0.05	2.38**		0.05	2.25**		0.07	0.116**	
尻の角度	0.04	13.06**	-0.26**	0.06	13.84**	-0.26**	0.05	0.571**	-0.011**
尻の幅	0.02	4.64	-0.11*	0.02	5.85*	-0.12*	0.00	-0.001	
後肢側望	0.04	7.93**	-0.18**	0.05	8.07**	-0.18**	0.04	0.304**	-0.007**
蹄の角度	0.01	3.48*	-0.07	0.02	3.94*	-0.08*	0.01	0.159*	-0.003
前乳房の付着	0.28	4.73**		0.28	4.42**		0.29	0.184**	
後乳房の高さ	0.18	3.79**		0.17	3.40**		0.19	0.150**	
後乳房の幅	0.06	2.11**		0.07	2.21**		0.10	0.107**	
乳房の懸垂	0.20	9.38**	-0.12**	0.21	9.93**	-0.13**	0.20	0.361**	-0.005*
乳房の深さ	0.63	34.83**	-0.60**	0.55	32.89**	-0.58**	0.60	1.346**	-0.024*
乳頭の配置	0.12	9.05**	-0.14**	0.12	9.03**	-0.15**	0.14	0.369**	-0.006*

R^2 : 各体型形質を基本モデルに含めた場合の決定係数の増加量を示す。牛群・年次、初産分娩月齢、牛群偏差乳量および牛群偏差乳脂量に対する生産期間 72、生産期間 72 (305) および在群期間 72 の各基本モデルの決定係数は、各々 33.28, 30.61 および 30.82% である。

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, 直線および曲線ともに有意な回帰係数が認められた形質は、決定係数の増加量が多い方を示した。

した。体の大きさに関連する体積、高さ、強さ、体の深さ、尻の幅および尻の角度は、決定係数の増加量が小さいことから、回帰係数が有意であっても機能的長命性との関連性は低いものと推察される。すなわち、鈴木ら (1996) が考察しているように、ショウタイプに見られるような体の大きな乳牛は長命連産には有利とは言えないことを示唆している。また、決定得点は、一般外貌、乳用牛の特質、体積および乳器の各々に 3 : 2 : 2 : 3 の重み付けで合成した値である。これらの形質は上記の結果から機能的長命性の変動を 1% 以下しか説明できないが、決定得点の利用価値をわずかも高めようとするならば、乳器の重みを増やすことが考えられる。

次に、各体型形質の育種価に対する産乳能力の影響を除去した生産期間 72、生産期間 72 (305) および在群期間 72 の 1 次と 2 次の回帰係数を表 3 に示した。この回帰分析では、遺伝的な体型形質値に対する表型的な機能的長命性の関係を示しているが、これらの遺伝的成分と環境的成分が各々独立と仮定すれば、近似的ではあるが遺伝的關係を表している。機能的長命性との関連性がもっとも高い形質は、乳器 (決定係数の増加量で 0.55 から 0.45%) であり、しかも有意 ($P < 0.01$) な直線的關係が回帰係数から認められた。乳房

の深さは、決定係数の増加量から乳器と同程度の割合で機能的長命性の変動を説明していることが示唆されるが、乳器と異なる点は表型値による関係と同様に育種価においても機能的長命性との間に 2 次曲線の関連性が認められることである。HARRIS *et al.* (1992)、河原ら (1996) および SHORT and LAWLOR (1992) によって長命性と乳房の深さとの遺伝相関が推定されているが、いずれも低い遺伝相関係数が推定されている。このことは、機能的長命性と乳房の深さとの間の 2 次曲線による関連性が起因しているものと推察される。また、このような 2 次曲線の関係は、北米地域の集団を扱った報告でも認められ (BURKE and FUNK, 1993; FOSTER *et al.*, 1989)、本分析と傾向が一致した。乳房の懸垂と乳頭の配置は、表型値では機能的長命性との間に有意 ($P < 0.01$) な 2 次曲線の関係が認められたが、育種価では直線的關係があった。肢蹄に関連する形質では、蹄の角度において有意 ($P < 0.01$) な 1 次回帰係数が推定されたが、決定係数の増加量はわずかに 0.01 から 0.02% の範囲にすぎなかった。後肢側望は、在群期間との間で有意 ($P < 0.01$) な負の 1 次回帰係数が推定されたが、決定係数は 0.02% の増加量に過ぎなかった。体の深さは、生産期間 72 と生産期間 72 (305) との間に各々有意 ($P < 0.01$) な 2 次曲線の

表 3. 各体型形質の育種価に対する初産分娩月齢、牛群偏差乳量および牛群偏差乳脂量の影響を除去した生産期間 72、生産期間 72(305)および在群期間 72 の 1 次と 2 次の回帰係数(データセット II, 47,067 記録を使用)

形 質	生産期間72 (日)			生産期間72 (305) (日)			在群期間72 (月)		
	R ²	1次	2次	R ²	1次	2次	R ²	1次	2次
決定得点	0.20	48.85**		0.23	48.79**		0.34	2.372**	
一般外貌	0.15	36.77**		0.18	36.58**		0.25	1.797**	
乳用牛の特質	0.09	34.40**		0.17	32.06**		0.15	1.691**	
体積	0.00	-2.82		0.00	-0.53		0.01	0.232*	
乳器	0.45	106.87**		0.47	103.64**		0.55	4.527**	
高さ	0.01	-0.40	-0.43*	0.01	-0.01	-0.47*	0.01	0.038	
強さ	0.00	-2.05		0.01	-0.42	-1.91*	0.01	0.081	
体の深さ	0.05	-4.63**	-1.93**	0.06	-4.02**	-2.44**	0.02	-0.043	-0.063*
鋭角性	0.06	12.45**	-5.59*	0.16	10.95**	-6.07**	0.10	0.609**	-0.194*
尻の角度	0.00	-1.57		0.00	0.86		0.00	-0.029	
尻の幅	0.01	-3.33*		0.01	0.11	-1.87*	0.01	0.021	-0.068*
後肢側望	0.00	-2.27		0.00	-0.68		0.02	-0.148**	
蹄の角度	0.01	9.92**		0.01	9.96**		0.02	0.437**	
前乳房の付着	0.23	23.57**		0.23	21.97**		0.28	0.967**	
後乳房の高さ	0.18	18.99**		0.15	16.32**		0.18	0.729**	-0.128*
後乳房の幅	0.03	7.75**		0.05	7.50**	-2.43*	0.09	0.444**	
乳房の懸垂	0.20	22.49**		0.18	20.07**		0.18	0.799**	
乳房の深さ	0.44	23.70**	-3.72**	0.43	21.80**	-3.82**	0.42	0.873**	-0.142**
乳頭の配置	0.08	8.13**		0.09	8.32**		0.09	0.331**	

R²: 各体型形質を基本モデルに含めた場合の決定係数の増加量を示す。牛群・年次、初産分娩月齢、牛群偏差乳量および牛群偏差乳脂量に対する生産期間 72、生産期間 72 (305) および在群期間 72 の各基本モデルの決定係数は、各々 33.62、30.97 および 31.09% である。

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, 直線および曲線ともに有意な回帰係数が認められた形質は、決定係数の増加量が多い方を示した。

関係が認められ、決定係数の増加量が小さいながらも遺伝的に体の深い個体ほど生産期間が短縮される傾向を示唆した。

さらに、河原ら (1996) は連産性を説明できる形質として生産期間 72 (305) をあげているが、本分析において生産期間 72 (305) のみ特徴のある説明ができる体型形質は認められなかった。したがって、連産性と体型形質との関係を明らかにするには、体型の測定部位を再検討し、さらなる調査が必要であると推察された。一方、在群期間 72 は、決定得点、一般外貌および乳器の各表型値および育種価に対し、他の長命性の形質と比較して決定係数の増加量が大きいことが判明したが、その理由は明らかではない。

従来、酪農家が経験的に長命連産性と何らかの関連があると考えていた体型形質は、乳房と肢蹄であった。本研究の結果では、長命性に大きく影響する要因は産乳量であり、それと比較し体型形質の影響は小さなものであった。その中でも、機能的長命性と比較的関連があるのではないかと推察されるのは乳器および乳房に関連する形質であった。乳器および乳房に関連する形質については、酪農家の経験において予測されたとおりの結果が得られたと推察される。一方、肢蹄は、後肢側望において機能的長命性との間に表型的には 2 次曲線による有意な関連が認められたが蹄の角度ではこのような関連が認められなかった。遺伝的には、蹄の角度において直線的な有意の関係が認められたが、後肢側望では機能的長命性の形質によっては有意な関係が認められない場合もあった。蹄の角度は、機能的長命性との間に有意な遺伝的関連があったが、遺伝率が 0.05 と非常に低い (河原ら, 1996) ため、選抜形質としては望ましいものではないと推察される。以上のことから、産乳能力が高いにもかかわらず淘汰を実施せざるをえない個体を少なくするためには、体型形質を利用する場合、乳房または乳器の改良について検討が必要ではないかと考察される。この場合、もっとも選抜形質として価値のある形質は乳器であるが、遺伝率が比較的低いこと (河原ら, 1996)、またわが国は種雄牛の多くを北米の遺伝資源に依存しているが米国では乳器の遺伝評価値が公表されていないため、このような導入育種の体制下では乳房に関連する線形形質を合成して選抜指数式を作成する方法が現実の酪農産業に役立つかもしれない (鈴木ら, 1996)。本分析は、機能的長命性という観点から体型形質の利用価値を明ら

かにした点で、今後、体型の遺伝的改良に指針を与えるものとして意義のある研究であったと推察される。

本稿は、農林水産省の「総合的遺伝評価のための基礎情報整備事業」より助成を受けた研究成果の一部である。また、家畜改良事業団および日本ホルスタイン登録協会には、記録の提供にあたり多大なる便宜を受けた。

文 献

- BURKE, B. P. and D. FUNK (1993) Relationship of linear type traits and herd life under different management systems. *J. Dairy Sci.*, **76**: 2773-2782.
- DEKKERS, J. C. M., L. K. JAIRATH and B. H. LAWRENCE (1994) Relationships between sire genetic evaluations for conformation and functional herd life of daughters. *J. Dairy Sci.*, **77**: 844-854.
- DUCROCQ, V., R. L. QUAAS, E. L. POLLAK and G. CASELLA (1988) Length of productive life of dairy cows. 1. Justification of a Weibull model. *J. Dairy Sci.*, **71**: 3061-3070.
- FOSTER, W. W., A. E. FREEMAN, P. L. BERGER and A. KUCK (1989) Association of type traits scored linearly with production and herd life of Holsteins. *J. Dairy Sci.*, **72**: 2651-2664.
- HARRIS, B. L., A. E. FREEMAN and E. METZGER (1992) Analysis of herd life in Guernsey dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, **75**: 2008-2016.
- 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.
- SAS/STAT ユーザーズガイド (1990) 569-666. SAS 出版局. 東京.
- SHORT, T. H. and T. J. LAWLOR (1992) Genetic parameters of conformation traits, milk yield, and herd life in Holsteins. *J. Dairy Sci.*, **75**: 1987-1998.
- 鈴木三義・井上嘉明・河原孝吉・池内 豊 (1996) ホルスタインにおける線形審査の主成分スコアと生産期間、泌乳形質および体型得点の関連. *日畜会報*, **67**: 727-731.