

農用馬の体重ならびに体尺測定値に関する異なる 成長段階における遺伝的パラメータの推定

増田 豊¹・久保喜広²・山下大輔³・柏村文郎¹・鈴木三義¹

¹ 帯広畜産大学, 帯広市 080-8555

² (独)家畜改良センター十勝牧場, 北海道音更町 080-0572

³ 日本馬事協会, 東京都中央区 104-0033

(2013. 5. 23 受付, 2013. 9. 19 受理)

要約 農用馬の体重ならびに体尺測定値(体高, 尻高, 体長, 胸深, 胸幅, 尻幅, 腰幅, 尻長, 胸囲, 管囲)に関して遺伝的パラメータを推定した。データは, 家畜改良センター十勝牧場において1999年から2011年までに誕生したブルトン種307頭とペルシュロン種324頭から得た。測定間隔は平均して2ヵ月であった。誕生から6ヵ月齢まで, 7から19ヵ月齢まで, 20から34ヵ月齢までを, それぞれステージ1, 2, 3と定義した。各ステージを異なる形質とみなした3形質の反復アニマルモデルを当てはめて分散成分を推定した。各ステージの遺伝率は, 11の測定項目について, ブルトンでそれぞれ0.05~0.36, 0.16~0.54, 0.08~0.66, ペルシュロンで0.05~0.38, 0.03~0.76, 0.23~0.84の範囲にあった。各ステージ間の遺伝相関は, いずれの品種においても正であり, 0.37から1.00の範囲にあった。

日本畜産学会報 85 (1), 1-12, 2014

2010年に, わが国において7,700頭を超える農用馬が飼育され, 1,717頭の子馬が生産された(農林水産省2012)。この農用馬集団は, 主にブルトン種, ペルシュロン種, ベルジアン種などの純粋種と, それらの交雑種から構成されている。これらの農用馬は, ばん用ならびに肉用として利用されている。わが国の家畜改良増殖目標(農林水産省2010)では, 農用馬に対し, ばん用にあつては運動性に富み, けん引能力の高いものに改良することを求めている。けん引力に関しては中程度の遺伝率が推定されており, 自身および血縁個体の記録に基づく選抜が有効であることが知られている(Hintz 1980)。北海道で開催されているばんえい競馬は, けん引能力に対する間接的な選抜手段である。しかし, その競走成績には不確実な要因が関係するため, ある個体の遺伝能力を推定するには多数の記録を要する。さらに, その競走に出走できるのは2歳以降であるため, 若齢時の記録は得られず, 選抜が実施できるまでには時間がかかる。

農用馬の体重はけん引能力と強く相関する(Rhoad 1929; 石崎ら1954)。農用馬の体重ならびに体尺測定値は, けん引能力および産肉性に関する客観的な指標である。重量のある個体は肉生産にも有用である。Kashiwamuraら(2001)は, 体重といくつかの体尺測定値がばんえい競走馬の生涯成績と関係すると報告し, それらの測定値が強健性とけん引能力の選抜に有用であることを示唆

した。もし若齢時にこれらの測定値が得られるなら, それは将来のけん引能力を予測するために利用できる。実際に, イタリアの農用馬はけん引能力と産肉性を改良目標とし, 7ヵ月齢以下の子馬から得た体型情報を選抜に活用している(Mantovaniら2005)。

体重と体尺測定値は, 月齢に沿って増加する。それらの成長曲線には個体差があり, 一部には遺伝要因が関与している。ある測定項目において, 異なる成長段階で記録された測定値をそれぞれ異なる形質とみなして多形質アニマルモデルを当てはめることで, 成長パターンの遺伝的な特徴をとらえることができる。もし成長ステージ間の遺伝相関が高いなら, 子馬の記録は, 成熟時の遺伝能力を予測するために利用できる。

農用馬の体重および体尺測定値に対する遺伝的パラメータに関する報告は少なく, 特に成長ステージ間の遺伝相関を報告した例はほとんどない。独立行政法人家畜改良センター十勝牧場では, 純系のブルトン種とペルシュロン種の子馬について, 誕生直後から平均して2ヵ月おきに, 体重と10の体尺項目について測定を実施している。本研究では, それらのデータに対して測定項目ごとに異なるステージの記録を別形質とした多形質アニマルモデルを当てはめ, 各成長ステージにおける遺伝率と, ステージ間の遺伝相関を推定した。

連絡者: 増田 豊 (fax : 0155-49-5414, e-mail : masuday@obihiro.ac.jp)

材料および方法

1. データ

本分析では、独立行政法人家畜改良センター十勝牧場において1999年から2011年までに誕生し、公益社団法人日本馬事協会に登録されたブルトン種307頭とペルシュロン種324頭から得た体重ならびに体高、尻高、体長、胸深、胸幅、尻幅、腰幅、尻長、胸囲、管囲の10項目の体尺測定値(Kashiwamuraら2001)を用いた。子馬は誕生直後に個別に測定し、その後は厩に基づき、平均して2ヵ月ごとに、同じ年に生まれた個体を同時に測定した。2011年に誕生した個体は、1ヵ月ごとに測定した。原則として、測定日に馬群に存在するすべての個体について、すべての項目を測定したが、野帳の記述ミスに由来する明らかな異常値は欠測値とした。また、測定日の直後に淘汰されることが決定している個体について、体重以外の項目は測定されなかった場合があり、この場合も未測定項目に欠測値が割り当てられた。

どの個体も2月から6月までに誕生し、9月まで母馬とともに林間に放牧された。離乳はその年の9月または10月に一斉に実施され、その後は母馬と別の厩舎で飼養された。離乳時の月齢は3から7ヵ月齢であった。両品種とも約40%の個体が、24ヵ月齢以前に馬群を去った。父馬と母馬は、原則としてこの牧場で誕生した個体から選択された。何頭かの個体が、繁殖馬としてフランスから不定期に導入された。

本分析では、誕生から6ヵ月齢までをステージ1、7から19ヵ月齢までをステージ2、20から34ヵ月齢までをステージ3と定義した。ある個体が特定のステージにおいて記録を全く持たなくとも、他のステージに1個以上の記録を持てば、その個体は分析に含められた。図1は、各月齢において体重に関して測定された個体数の推移である。他の形質についても、それぞれの品種で図1と同様の分布が得られた。また、本分析で用いたデータセットに含まれる記録数と頭数を表1に示した。

血縁情報は公益社団法人日本馬事協会から提供された。血統登録前に馬群から淘汰された個体は、分析から除外した。登録された子馬の年平均頭数は、2007年以前ではブルトン種で23頭、ペルシュロン種で26頭であったが、2008年以降は両品種とも16頭であった。血統ファイルには、さかのぼれる限りすべての血縁情報を含めた。分析に用いた血縁個体数は、ブルトンで606頭、ペルシュロンで769頭であった。

2. 統計的分析

遺伝的パラメータの推定には、各ステージを異なる形質とみなした3形質の反復アニマルモデルを当てはめ、各品種の体重と体尺測定値ごとにそれぞれ分散成分を推定した。各ステージには、以下の線形混合モデルを当てはめた。

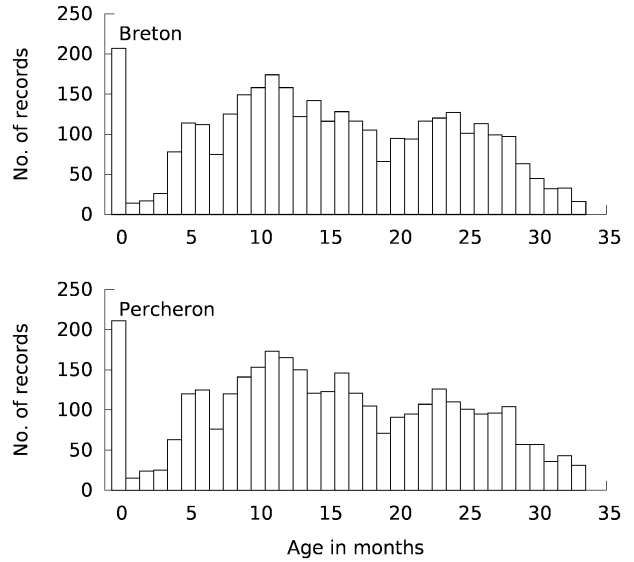


Figure 1 Number of records for each month for Breton and Percheron horses.

$$y_{ijklmno} = BY_i + BM_j + S_k + \alpha_i X_{no} + \beta_k X_{no} + A_l + AOD_m + u_n + p_n + e_{ijklmno}$$

ここで $y_{ijklmno}$ は体重または体尺測定値、 BY_i は誕生年の母数効果、 BM_j は誕生月の母数効果、 S_k は性別(雄または雌)の母数効果、 α_i は誕生月から枝分かれする回帰係数、 X_{no} は個体の月齢、 β_k は性別から枝分かれする回帰係数、 A_l は月齢(0ヵ月齢から33ヵ月齢まで1ヵ月ごとに区分し、34ヵ月齢は33ヵ月齢とみなした)の母数効果、 AOD_m は母の年齢(4歳から16歳まで1年ごと)の母数効果、 u_n は個体の相加的遺伝効果、 p_n は個体の恒久的環境(PE)効果、 $e_{ijklmno}$ は残差である。母の年齢の効果は、ステージ1のみモデルに含めた。これは、予備的分析の結果から、ステージ2と3において、子馬の体測定項目に対する母馬の年齢の効果が有意でなかったか、たとえ有意であってもその寄与が非常に小さかったためである。両品種のすべての体測定項目において、すべてのステージで母馬の年齢の効果をもデルに含めても、得られた遺伝的パラメータの推定値は、前述のモデルを当てはめることで得られた結果とほぼ同じであった。

相加的遺伝効果ならびに恒久的環境効果に関して、ステージ間に共分散があると仮定したが、残差共分散はゼロと仮定した。その結果、推定すべき分散成分は、相加的遺伝分散共分散行列(3×3)、PE分散共分散行列(3×3)、残差分散の対角行列(3×3)であった。遺伝的パラメータの推定は、制限付き最尤法(REML)により行い、AIREMLF90プログラム(Misztalら2002)を用いて計算した。収束時の平均情報行列(AI行列)から、各パラメータの標準誤差を算出した。

Table 1 Description of datasets used in this study

Breed	Trait ^a	Number of Records				Number of Animals			
		Stage ^b 1	Stage 2	Stage 3	Total	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Total
Breton	BoW	568	1,622	1,147	3,337	256	231	165	307
	WiH	568	1,617	1,140	3,325	256	231	165	307
	CrH	548	1,617	1,139	3,304	256	231	165	307
	BoL	557	1,616	1,141	3,314	256	231	165	307
	ChD	548	1,614	1,141	3,303	256	231	165	307
	ChW	547	1,617	1,141	3,305	256	231	165	307
	HiW	547	1,616	1,140	3,303	256	231	165	307
	CrW	548	1,617	1,140	3,305	256	231	165	307
	RuL	548	1,616	1,140	3,304	256	231	165	307
	ChG	568	1,617	1,141	3,326	256	231	165	307
	CaC	566	1,617	1,141	3,324	256	231	165	307
Percheron	BoW	586	1,653	1,138	3,377	270	235	162	324
	WiH	586	1,652	1,131	3,369	270	235	162	324
	CrH	573	1,651	1,129	3,353	270	235	162	324
	BoL	581	1,650	1,130	3,361	270	234	162	324
	ChD	575	1,650	1,131	3,356	270	235	162	324
	ChW	575	1,651	1,130	3,356	270	235	162	324
	HiW	575	1,650	1,130	3,355	270	235	162	324
	CrW	574	1,652	1,131	3,357	270	235	162	324
	RuL	574	1,650	1,131	3,355	270	235	162	324
	ChG	587	1,648	1,130	3,365	270	235	162	324
	CaC	586	1,652	1,130	3,368	269	235	162	324

^a : BoW = body weight, WiH = height at withers, CrH = height at croup, BoL = body length, ChD = chest depth, ChW = chest width, HiW = hip width, CrW = croup width, RuL = rump length, ChG = chest girth, CaC = cannon bone circumference

^b : Stage 1 = from birth to 6 months of age, Stage 2 = from 7 to 18 months of age, Stage 3 = from 19 to 34 months of age

結果および考察

それぞれの品種における各測定項目の平均値、標準偏差 (SD)、変動係数 (CV) を図 2 に示す。ブルトン種とベルシュロン種は、体高を除く測定項目において、ほぼ同一の平均成長曲線を示した。誕生時と 30 ヶ月齢における平均体重は、ブルトン種でそれぞれ 75 kg および 846 kg、ベルシュロン種でそれぞれ 77 kg および 835 kg であった。

SD ならびに CV の月齢に伴う推移は、どの測定項目においても品種間で似ていた。体重に関する SD は月齢に伴って増加したが、その他の測定項目における SD は月齢に関係なくほぼ一定であった。同様の結果は、Finnhorse 種について Saastamoinen (1990) が、サラブレッド種について山本ら (1993) がそれぞれ報告している。ただし本分析では、体高、尻高、体長、尻長、胸囲について、初期において高い値が観測された。これは、特に大きな値を持つ個体が存在したためであった。この原因に関する一つの可能性は、在胎日数が長く、より成長の進んだ子馬が存在する (Langlois と Blouin 2012) かもしれないことである。

本分析では、子馬の在胎期間のデータが利用できず、この仮説を検討することができなかった。どの測定項目においても、誕生時の CV は、それ以降の月齢に対して相対的に大きく、10 ヶ月齢以降はほぼ一定で推移した。体重ならびに体尺測定値の CV が、誕生後すぐの子馬において高いことは、他の品種でも報告されている (Saastamoinen 1990 ; 山本ら 1993)。この現象は、子馬が誕生する前の母親の子宮内における保育環境に個体差があることを示唆しているのかもしれない。

それぞれの成長ステージにおける各測定項目の遺伝的パラメータを表 2 から表 4 に示した。ほとんどの測定項目において、遺伝率はステージが進むほどより高く推定された。ウマの測定項目に関わる遺伝率では、同様の傾向が報告されている (Hintz ら 1978 ; Saastamoinen 1990)。この遺伝率の変化は、成長に伴う遺伝分散の増加と残差分散の減少あるいは停滞が同時に起きたことに原因がある。遺伝分散と PE 分散の増加は、平均値の上昇に伴う尺度効果が関係すると推察される。一方、体尺測定値に対する残差分散は、最初のステージにおいて最も大きい。この大き

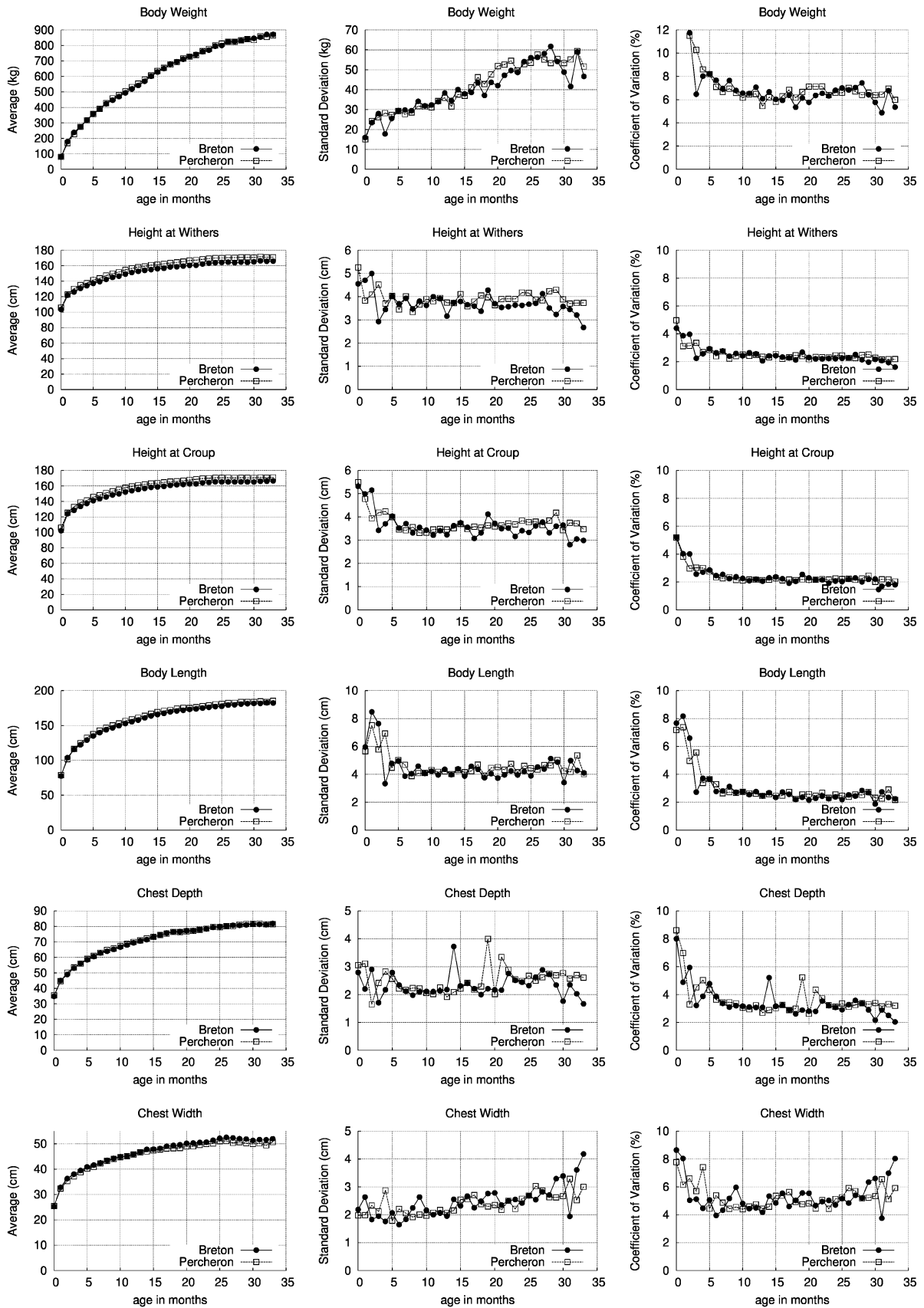


Figure 2 Average (left), standard deviation (middle), and coefficient of variation (right) for each month for body weight and body measurements in Breton (filled circle) and Percheron (open square) horses.

農用馬の体格の遺伝的パラメータ

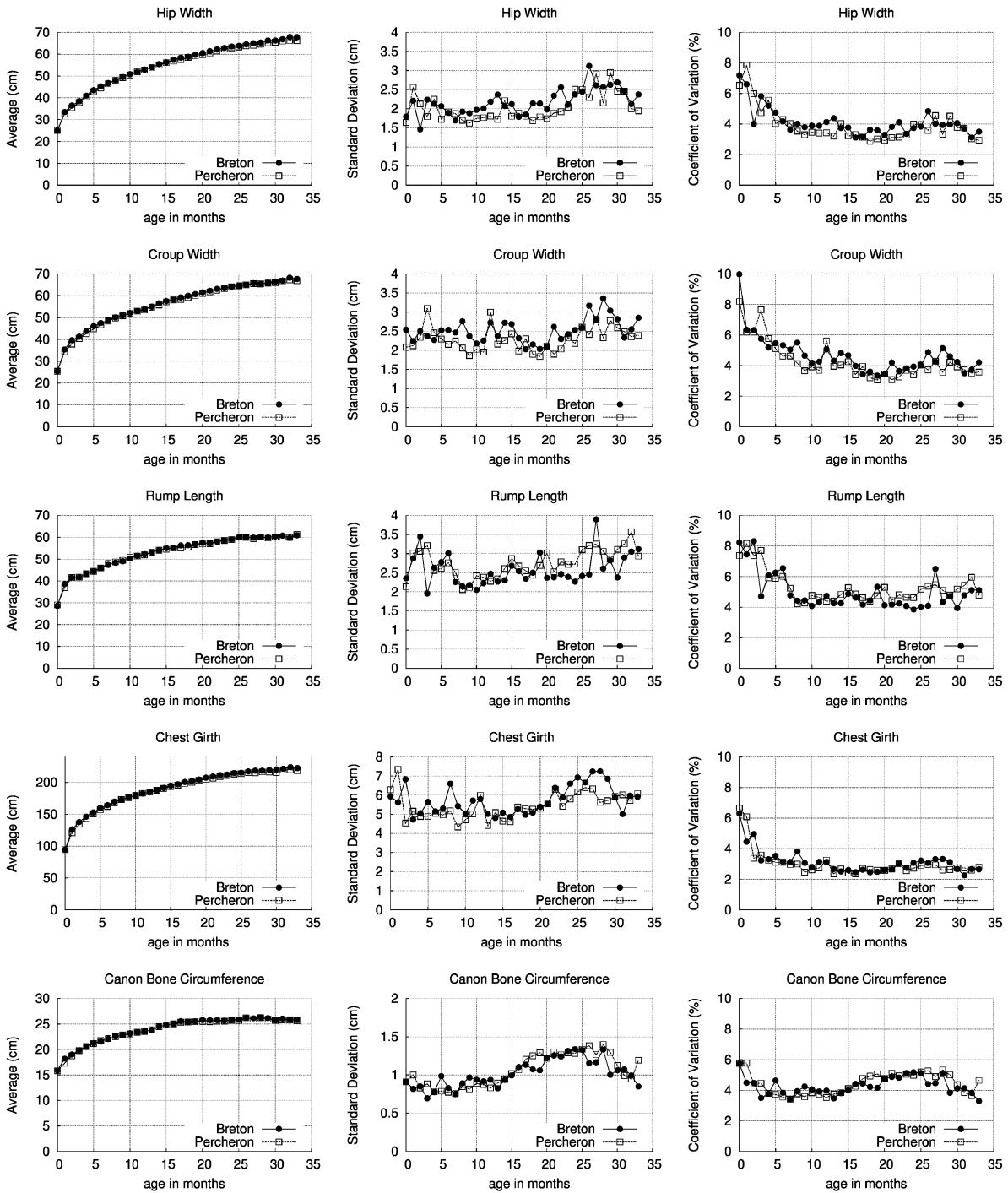


Figure 2 Continued.

な残差分散は、モデルで説明できなかった母性効果の分散が残差分散に含まれたためであると考えられる (Meyer 1992).

ステージ 1 における遺伝率は、ブルトン種で 0.05 から 0.36、ペルシュロン種で 0.05 から 0.38 の範囲にあった。Saastamoinen (1990) は、誕生時ならびに 6 カ月齢における重種馬の体重、体高、胸囲、体長、胸深、管囲につい

て、本研究と同程度の遺伝率を報告した。Hintz ら (1978) は生後 209 日までのサラブレッド種の子馬に対し、体重と体高について本研究と同程度、管囲について本研究より低い値を報告した。Mantovani ら (2005) は、7 カ月齢までの Italian Heavy Draught Horse 種の子馬について、その体型審査スコアの遺伝率が 0.08 から 0.23 の範囲にあると報告した。すなわち、ブルトン種とペルシュロ

Table 2 Estimated variance components for body weight and body measurements in Breton and Percheron

Trait ^a	Stage ^b	Breton			Percheron		
		G ^c	PE ^c	R ^c	G ^c	PE ^c	R ^c
BoW	1	112	86	328	132	18	313
	2	454	594	340	677	289	326
	3	1370	1120	351	1660	351	392
WiH	1	3.59	1.76	8.96	6.72	0.15	10.90
	2	7.45	2.48	3.96	12.40	0.64	3.36
	3	8.72	3.09	3.06	11.10	3.59	2.37
CrH	1	3.53	2.39	10.40	6.20	0.57	12.30
	2	5.59	3.68	2.94	9.83	1.14	2.47
	3	9.50	3.12	2.19	13.40	0.98	1.58
BoL	1	3.22	2.15	20.2	3.62	1.03	19.50
	2	9.53	3.73	6.73	6.88	4.51	6.34
	3	12.80	4.74	4.51	9.80	5.59	4.41
ChD	1	1.19	0.13	4.65	0.60	0.44	4.85
	2	2.01	0.70	2.63	1.50	1.03	2.00
	3	1.86	1.31	2.19	1.42	2.11	2.41
ChW	1	0.81	0.23	2.82	1.00	0.09	2.93
	2	1.09	1.12	2.49	1.91	0.75	2.23
	3	2.39	1.87	2.59	2.49	0.65	2.07
HiW	1	0.25	0.33	3.05	0.50	0.08	2.31
	2	1.21	0.80	2.13	0.92	0.63	1.62
	3	2.14	0.85	2.19	1.80	1.11	1.73
CrW	1	0.29	0.28	4.52	0.65	0.07	3.15
	2	0.83	1.75	2.64	1.08	0.68	2.45
	3	2.85	1.63	2.45	2.36	0.99	2.05
RuL	1	0.27	0.24	4.70	0.23	0.16	4.01
	2	0.68	0.64	2.89	0.15	0.74	3.87
	3	0.49	0.99	4.77	1.52	0.54	4.48
ChG	1	2.67	2.88	24.70	4.15	1.56	22.10
	2	6.72	11.2	9.76	8.59	8.10	8.51
	3	20.30	12.9	8.59	17.80	6.70	7.56
CaC	1	0.26	0.06	0.42	0.23	0.01	0.37
	2	0.46	0.13	0.26	0.36	0.05	0.29
	3	0.73	0.16	0.21	0.39	0.13	0.19

^a : BoW = body weight, WiH = height at withers, CrH = height at croup, BoL = body length, ChD = chest depth, ChW = chest width, HiW = hip width, CrW = croup width, RuL = rump length, ChG = chest girth, CaC = cannon bone circumference

^b : Stage 1 = from birth to 6 months of age, Stage 2 = from 7 to 18 months of age, Stage 3 = from 19 to 34 months of age

^c : G = genetic variance, PE = permanent environmental variance, R = residual variance

ン種の7ヵ月齢以下の子馬について、その体測定項目に関する遺伝率は、他の品種と同様に中程度よりも低かった。これは、前述のように母馬の影響のほか、子馬の発育に影響する、今回用いたモデルでは考慮しきれていない多くの環境要因が存在するためであると考えられる（山本ら1993）。

響する、今回用いたモデルでは考慮しきれていない多くの環境要因が存在するためであると考えられる（山本ら1993）。

Table 3 Estimated parameters for body weight and body measurements in Breton

Trait ^a	Stage ^b	<i>h</i> ² & Correlations ^c			<i>r</i> & Correlations ^d		
		1	2	3	1	2	3
BoW	1	0.21 (0.09)	0.91 (0.36)	0.47 (0.17)	0.38 (0.05)	0.95 (0.24)	1.00 (0.30)
	2	0.49 (0.04)	0.33 (0.13)	0.61 (0.16)		0.75 (0.02)	0.93 (0.13)
	3	0.40 (0.06)	0.62 (0.04)	0.48 (0.15)			0.88 (0.02)
WiH	1	0.25 (0.04)	0.93 (0.36)	0.89 (0.17)	0.37 (0.03)	1.00 (0.15)	1.00 (0.16)
	2	0.49 (0.03)	0.54 (0.05)	0.93 (0.16)		0.71 (0.02)	1.00 (0.14)
	3	0.50 (0.03)	0.71 (0.02)	0.59 (0.05)			0.79 (0.02)
CrH	1	0.22 (0.06)	0.97 (0.28)	0.93 (0.23)	0.36 (0.04)	1.00 (0.25)	1.00 (0.24)
	2	0.52 (0.03)	0.46 (0.11)	0.92 (0.19)		0.76 (0.02)	1.00 (0.21)
	3	0.52 (0.04)	0.75 (0.03)	0.64 (0.08)			0.85 (0.02)
BoL	1	0.13 (0.04)	0.98 (0.26)	0.99 (0.27)	0.21 (0.02)	0.95 (0.32)	0.96 (0.34)
	2	0.36 (0.03)	0.48 (0.10)	0.96 (0.17)		0.66 (0.03)	0.82 (0.22)
	3	0.40 (0.03)	0.67 (0.03)	0.58 (0.11)			0.80 (0.02)
ChD	1	0.20 (0.04)	0.98 (0.14)	1.00 (0.14)	0.22 (0.04)	0.84 (> 1.0)	0.30 (> 1.0)
	2	0.31 (0.04)	0.38 (0.08)	0.98 (0.13)		0.51 (0.03)	0.76 (0.19)
	3	0.28 (0.04)	0.49 (0.04)	0.35 (0.07)			0.59 (0.03)
ChW	1	0.21 (0.05)	1.00 (0.04)	0.99 (0.14)	0.27 (0.04)	1.00 (0.69)	0.76 (0.38)
	2	0.34 (0.04)	0.23 (0.06)	0.99 (0.14)		0.47 (0.03)	0.72 (0.05)
	3	0.37 (0.04)	0.47 (0.04)	0.35 (0.09)			0.62 (0.03)
HiW	1	0.07 (0.01)	0.90 (0.13)	0.37 (0.07)	0.16 (0.01)	0.98 (0.16)	0.96 (0.14)
	2	0.26 (0.01)	0.29 (0.01)	0.70 (0.01)		0.49 (0.01)	0.97 (0.04)
	3	0.18 (0.01)	0.42 (0.01)	0.41 (0.02)			0.58 (0.01)
CrW	1	0.06 (0.03)	0.99 (> 1.0)	0.51 (0.30)	0.11 (0.02)	0.99 (0.23)	0.98 (0.35)
	2	0.23 (0.03)	0.16 (0.08)	0.62 (0.10)		0.49 (0.03)	0.95 (0.06)
	3	0.19 (0.03)	0.43 (0.04)	0.41 (0.11)			0.65 (0.04)
RuL	1	0.05 (0.01)	0.97 (0.25)	0.89 (0.36)	0.10 (0.01)	0.95 (0.31)	0.87 (0.18)
	2	0.17 (0.01)	0.16 (0.01)	0.90 (0.13)		0.31 (0.01)	0.84 (0.05)
	3	0.13 (0.01)	0.23 (0.01)	0.08 (0.01)			0.24 (0.01)
ChG	1	0.09 (0.04)	0.98 (0.42)	0.53 (0.17)	0.18 (0.03)	0.99 (0.21)	0.79 (0.17)
	2	0.34 (0.03)	0.24 (0.10)	0.61 (0.16)		0.65 (0.03)	0.86 (0.11)
	3	0.24 (0.05)	0.51 (0.05)	0.49 (0.13)			0.79 (0.02)
CaC	1	0.36 (0.01)	0.99 (0.42)	0.90 (0.24)	0.44 (0.01)	0.96 (> 1.0)	0.76 (> 1.0)
	2	0.54 (0.01)	0.54 (0.02)	0.94 (0.13)		0.69 (0.01)	0.82 (> 1.0)
	3	0.52 (0.01)	0.68 (0.01)	0.66 (0.01)			0.81 (0.01)

^a : BoW = body weight, WiH = height at withers, CrH = height at croup, BoL = body length, ChD = chest depth, ChW = chest width, HiW = hip width, CrW = croup width, RuL = rump length, ChG = chest girth, CaC = cannon bone circumference

^b : Stage 1 = from birth to 6 months of age, Stage 2 = from 7 to 18 months of age, Stage 3 = from 19 to 34 months of age

^c : heritabilities (*h*²) on diagonal, generic correlations above diagonal, phenotypic correlations below diagonal ; values enclosed by parentheses = standard error

^d : repeatabilities (*r*) on diagonal, permanent environmental (PE) correlations above diagonal

24 ヶ月齢以降の成馬に対する体重および体尺測定値の遺伝率に関して、いくつかの報告がある。それらは、いずれも中程度から高い値を示した。体重に関して、Hintzら(1978)はサラブレッド種に対して0.90の遺伝率を、

Saastamoinen (1990)は0.36から0.88の範囲の遺伝率を報告した。Drumlら(2008)は、Noriker重種馬の体高について0.67の遺伝率を報告した。さらにDrumlら(2008)は、体尺測定値の遺伝率に関する過去の文献を調

Table 4 Estimated parameters for body weight and body measurements in Percheron

Trait ^a	Stage ^b	h^2 & Correlations ^c			r & Correlations ^d		
		1	2	3	1	2	3
BoW	1	0.28 (0.01)	0.90 (0.04)	0.66 (0.03)	0.32 (0.01)	1.00 (0.05)	0.91 (0.04)
	2	0.44 (0.01)	0.52 (0.01)	0.79 (0.02)		0.75 (0.01)	0.90 (0.02)
	3	0.36 (0.01)	0.64 (0.01)	0.69 (0.01)			0.84 (0.01)
WiH	1	0.38 (0.01)	0.99 (0.05)	0.98 (0.05)	0.39 (0.01)	0.86 (0.46)	0.47 (0.06)
	2	0.54 (0.01)	0.76 (0.01)	1.00 (0.04)		0.80 (0.01)	0.85 (0.01)
	3	0.51 (0.01)	0.78 (0.01)	0.65 (0.01)			0.86 (0.01)
CrH	1	0.32 (0.03)	0.99 (0.10)	0.93 (0.09)	0.35 (0.03)	0.97 (0.10)	0.49 (0.20)
	2	0.53 (0.02)	0.73 (0.02)	0.98 (0.08)		0.82 (0.01)	0.68 (0.07)
	3	0.51 (0.02)	0.82 (0.01)	0.84 (0.02)			0.90 (0.01)
BoL	1	0.15 (0.04)	0.97 (0.25)	0.95 (0.24)	0.19 (0.04)	0.90 (0.18)	0.44 (0.08)
	2	0.33 (0.04)	0.39 (0.09)	1.00 (0.22)		0.64 (0.03)	0.80 (0.13)
	3	0.31 (0.04)	0.65 (0.03)	0.50 (0.12)			0.78 (0.02)
ChD	1	0.10 (0.04)	0.99 (0.04)	0.97 (0.09)	0.18 (0.03)	0.76 (0.53)	0.32 (0.23)
	2	0.28 (0.03)	0.33 (0.10)	0.93 (0.08)		0.56 (0.03)	0.86 (0.07)
	3	0.20 (0.04)	0.51 (0.04)	0.24 (0.09)			0.59 (0.03)
ChW	1	0.25 (0.06)	0.89 (0.11)	0.78 (0.11)	0.27 (0.05)	1.00 (> 1.0)	0.54 (> 1.0)
	2	0.34 (0.04)	0.39 (0.09)	0.95 (0.14)		0.54 (0.03)	0.52 (0.88)
	3	0.30 (0.05)	0.48 (0.04)	0.48 (0.11)			0.60 (0.04)
HiW	1	0.17 (0.05)	0.90 (0.39)	0.68 (0.21)	0.20 (0.05)	0.99 (> 1.0)	0.86 (> 1.0)
	2	0.28 (0.04)	0.29 (0.09)	0.88 (0.07)		0.49 (0.04)	0.81 (0.37)
	3	0.25 (0.04)	0.47 (0.04)	0.39 (0.13)			0.63 (0.04)
CrW	1	0.17 (0.05)	0.93 (0.15)	0.46 (0.12)	0.19 (0.04)	0.98 (> 1.0)	0.87 (> 1.0)
	2	0.25 (0.04)	0.26 (0.07)	0.66 (0.06)		0.42 (0.03)	0.96 (0.34)
	3	0.18 (0.05)	0.39 (0.04)	0.44 (0.10)			0.62 (0.04)
RuL	1	0.05 (0.01)	0.99 (> 1.0)	0.76 (0.10)	0.09 (0.01)	1.00 (0.37)	1.00 (0.55)
	2	0.12 (0.01)	0.03 (0.01)	0.82 (0.16)		0.19 (0.01)	1.00 (0.03)
	3	0.14 (0.01)	0.18 (0.01)	0.23 (0.01)			0.32 (0.01)
ChG	1	0.15 (0.05)	0.84 (0.26)	0.71 (0.18)	0.21 (0.04)	1.00 (0.24)	0.79 (0.21)
	2	0.32 (0.04)	0.34 (0.11)	0.85 (0.19)		0.66 (0.03)	0.84 (0.13)
	3	0.29 (0.05)	0.59 (0.04)	0.55 (0.12)			0.76 (0.03)
CaC	1	0.37 (0.01)	0.94 (0.55)	0.74 (0.46)	0.39 (0.01)	0.49 (> 1.0)	0.12 (> 1.0)
	2	0.43 (0.01)	0.51 (0.01)	0.91 (0.31)		0.58 (0.01)	0.89 (> 1.0)
	3	0.34 (0.01)	0.58 (0.01)	0.55 (0.01)			0.74 (0.01)

^a : BoW = body weight, WiH = height at withers, CrH = height at croup, BoL = body length, ChD = chest depth, ChW = chest width, HiW = hip width, CrW = croup width, RuL = rump length, ChG = chest girth, CaC = cannon bone circumference

^b : Stage 1 = from birth to 6 months of age, Stage 2 = from 7 to 18 months of age, Stage 3 = from 19 to 34 months of age

^c : heritabilities (h^2) on diagonal, generic correlations above diagonal, phenotypic correlations below diagonal; values enclosed by parentheses = standard error

^d : repeatabilities (r) on diagonal, permanent environmental (PE) correlations above diagonal

査し、体高について 0.19 から 0.73、胸囲について 0.26 から 0.83 の範囲であると述べた。管囲の遺伝率は、0.21 から 0.68 の範囲で報告された (Molina ら 1999 ; Zechner ら 2001 ; Druml ら 2008 ; Suontama ら 2009)。以上

の測定項目について、本分析における推定値は、過去の研究の範囲内であった。尻高について Zechner ら (2001) と Druml ら (2008) は 0.15 以下の遺伝率を報告したが、Saastamoinen (1990) は体高と同程度である 0.38 以

上の値を報告した。Zechner ら (2001) と Druml ら (2008) は、その考察において、彼らが推定した遺伝率が低すぎると述べ、これは少ない記録数に關係することを示唆した。胸深、胸幅、腰幅の遺伝率は、過去に推定された値と同程度であった (Saastamoinen 1990 ; Molina ら 1999 ; Zechner ら 2001 ; Druml ら 2008)。尻幅に関する報告はなかった。また、尻長に対して、どのステージにおいても例外的に低い遺伝率が推定された。本研究の対象としたブルトン種とペルシュロン種において、20 ヶ月齢以降の個体に関する体格測定項目の遺伝率は、それ以前の月齢に比べてこれまでの報告と同様に高かった。農用馬において、一般にこの期間の体測定値に対する直接選抜は非常に効果的である。また、農用馬の体重および体尺測定値は、けん引能力と關係すると報告されている (Rhoad 1929 ; 石崎ら 1954 ; Kashiwamura ら 2001)。したがって、本研究で考慮した体格測定項目を用いてけん引能力を間接選抜することも有効であると考えられる。

反復率は、遺伝率と同様に、ステージの進行に伴ってより高く推定される傾向にあった。ステージ 1 における PE 分散は非常に小さく、他のステージに比べて、遺伝率と反復率の差もわずかであった。これは、生後まもなくの期間は、成長が著しい上に環境の影響を受けやすいので、測定値の再現性が低かったものと推察される。

ステージ間の遺伝相関は、いずれの品種のどの測定項目においても、中程度から高い正の値を示した。特に、ステージ 1 と 2 の間の遺伝相関は常に 0.8 以上であり、どの測定項目においても、この 2 つの成長段階における遺伝能力は相同性が高いと考えられる。体重において、ステージ 3 とステージ 1 およびステージ 2 との遺伝相関は、ブルトン種で 0.47 および 0.61、ペルシュロン種で 0.66 および 0.79 であった。これは、体重の成熟速度には遺伝的な個体差が存在することを示唆し、実用的には、若齢時と成熟時で、その遺伝能力の順位がしばしば入れ替わることを意味している。これらのことから、体重に関する遺伝能力評価を行う際には、成長に伴う遺伝能力の変化を考慮できるモデルが望ましい。また、農用馬において、成熟時の体重や体尺測定値は、けん引能力と有意に關係する (Rhoad 1929 ; 石崎ら 1954 ; Kashiwamura ら 2001)。農用馬の体格測定項目において、成熟時に相当するステージ 3 とステージ 1 の間には中程度から高い正の遺伝相関が存在することから、ステージ 1 における体格測定値を用いてけん引能力を間接選抜することは可能であると考えられる。

馬体重に関する同様の分析は過去に行われていない。肉用牛において生時体重と 1 歳齡体重との遺伝相関は、0.40 から 0.78 まで (Meyer ら 1993 ; Nobre ら 2003 ; Legarra ら 2004) の値が報告されている。これらの値は、本研究で体重において推定されたステージ 1 と 2 の間の遺伝相関よりも低い。これは、肉用牛では 1 歳になる前から肥

育を開始するため、1 歳齡体重が肥育開始時期と肥育後の飼料効率に影響されたためであると推察される。

体高、尻高、体長、胸深、胸幅、尻長、管囲について、各ステージ間の遺伝相関は 1 に近く、遺伝的能力の順位が生涯を通じてほとんど変化しないことを意味する。これらは骨格に關係する測定項目であり、骨格の発達に関する遺伝的特性を示唆している。Kaps ら (2010) は、Lipizzan 種について誕生直後から 36 ヶ月齢までの体高、胸囲、管囲に関する分析を行い、その月齡間の遺伝相関が、いずれの測定項目においてもほぼ 1 であることを示した。しかし、本研究では、尻幅、腰幅、胸囲について、ステージ間の遺伝相関には中程度かそれ以下の値を示すものがあった。特に腰幅においてステージ 2 と 3 の間の遺伝相関は 0.62 から 0.66 であり、中程度にとどまった。林田と山内 (1960) は、農用馬のいくつかの体測定項目について、36 ヶ月齡時の平均値に対するそれぞれの月齡時の平均値の比を示し、腰幅の成熟が最も遅いことを示した。本研究では、尻幅、腰幅、胸囲について、30 ヶ月齡時の平均値に対する 12 ヶ月齡時の平均値の比は両品種とも 85% 以下であり、他の体尺値よりも相対的に低い傾向があった (図 2)。もしステージ間で腰幅の成長速度に個体差があれば、それらのステージ間の遺伝相関は低くなるだろう。ところが、成熟の遅い (84%) 胸深ではステージ間の低い遺伝相関は推定されず、同程度の成熟速度 (86%) をもつ尻長では得られた遺伝相関が品種ごとに異なった。本分析で用いた限られたデータからは、サンプリングを原因とする推定値の変動は除去できない。これらの遺伝相関については、データを追加して再分析を実施した結果に基づいて考察すべきであると考ええる。

いくつかの PE 相関において、標準誤差が 1 を超えた。これは、記録数が限られていた上、PE 共分散行列がパラメータ空間の境界に近づき、推定に困難が生じたためである。PE 相関は、ブルトン種においてペルシュロン種よりも大きな値が推定される傾向にあった。この違いは品種の特性よりも、記録数の少なさに起因すると推察された。ステージ間の表型相関は概して低かった。これは、若齢時の表型値を用いて将来の能力を予測するには、予測の精度が低すぎることを意味する。

本分析では、各成長段階における遺伝的寄与の変化を説明するために、多形質モデルを当てはめた。これは、ウマの成長に関する遺伝分析がほとんど実施されていない事情を踏まえ、離乳前と成熟時を明確に分けて分析するほうが、過去の研究結果や他の品種における知見と比較しやすかったためである。その代わり、多くのパラメータが必要になり、一部の測定項目では恒久的環境相関に対する標準誤差の増大を招いた。変量回帰モデルは、時間に伴う育種価の変化を説明するための方法の一つである (Schaeffer 2004)。このモデルは、各成長段階における分散成分の不均一性、ならびに個体の相加的遺伝効果 (あるいは恒久的

環境効果)の変化を、月齢による滑らかな関数として表現できる。モデルがうまく当てはまれば、多形質モデルよりも少ないパラメータ数で成長に伴う遺伝的寄与の変化を説明できる。変量回帰モデルの当てはめには、平均成長曲線を説明する母数効果を特定し、共分散構造の記述に必要な関数を選択する必要がある。変量回帰モデルの応用において適切な数学モデルを検討することは、今後の課題である。

本分析では、子馬の体測定項目に対する母馬の年齢の効果は、ステージ1においてのみ考慮した。予備的分析では、ステージ2と3における母馬の年齢の効果は、有意でないかほとんど影響をもたないことが示された。母親の年齢の効果の子の成長に伴って小さくなることは、サラブレッド種(山本ら1993)およびクォーターホース種(Pool-Andersonら1994)のみならず、ウシ、ブタ、ヒツジにおいても報告されている(Cundiff 1972)。年齢の若い母馬は泌乳量が少ない(DoreauとBoulot 1989)ことから、本研究において、母馬の年齢は、泌乳量を通して子馬の離乳前の発育に影響を及ぼす効果であると推察される。本分析では、データ数が限られていたため、母馬の母性効果を考慮しなかった。理想的には、母性遺伝効果と母性恒久的環境効果を変量効果としてモデルに含めることが望ましい(Willham 1972)。一般に、肉用牛および肉用羊などの単胎・双胎動物において、初期発育形質に母性効果が存在することが知られている(Meyer 1992; Safariら2005)。ウマにおいて、母性効果の存在は示唆されているが(Saastamoinen 1990;山本ら1993)、その分散パラメータを推定した報告はない。農用馬は、離乳まで母馬と一緒に飼育されるのが一般的であり、母性効果の影響は大きいと予想される。母性効果の分散成分を無視したモデルを利用するとき、その分散成分は、相加的遺伝分散あるいは残差分散に合流する(Meyer 1992)。本分析において、初期の成長ステージにおける高い残差分散の一部は、この交絡により説明できるかもしれない。ウマの体重ならびに体尺測定値について、より多くのデータを集めた上で、母性効果をモデルに含めた分析が必要である。

本分析で推定された体重ならびに体尺測定値の遺伝率は、いずれのステージにおいても中程度以上と高く、直接選抜が有効であると考えられる。どの体格測定項目でも各成長ステージ間の遺伝相関は高いので、若齢時の体格測定記録は、その測定項目における成熟時の遺伝能力の予測に利用できる。しかし、一部の測定項目では、それらの遺伝相関が中程度に留まることから、若齢時の表現型値のみを用いて成熟時の遺伝能力を予測することは難しい。多形質BLUP法を用いれば、各ステージ間の遺伝相関を適切に考慮し、成熟時の体格測定値を欠測値として扱うことで、成熟時の育種価を予測することができる。多形質BLUP法は、各ステージ間の遺伝相関が中程度の測定項目だけでなく、その遺伝相関の高い測定項目に対しても有用な遺伝

評価方法である。以上から、初期発育段階における体重および体尺測定値に対して多形質BLUP法を用いることで、成熟時の体重および体尺測定値の遺伝能力を早期に予測して選抜に活用することができ、間接的にけん引能力を改善できると考えられる。

謝 辞

本研究は、馬能力向上推進事業の一部として財団法人全国競馬・畜産振興会による資金提供を受けて遂行された。ここに記し、謝意を表します。

文 献

- Cundiff LV. 1972. The role of maternal effects in animal breeding : VIII. Comparative aspects of maternal effects. *Journal of Animal Science* **35**, 1335-1337.
- Doreau M, Boulot S. 1989. Recent knowledge on mare milk production : A review. *Livestock Production Science* **22**, 213-235.
- Druml T, Baumung R, Sölkner J. 2008. Morphological analysis and effect of selection for conformation in the Noriker draught horse population. *Livestock Science* **115**, 118-128.
- 林田重幸, 山内忠平. 1960. 中型農馬の発育に関する研究 : 第II報 発育過程の分析. 鹿児島大学農学部学術報告 **9**, 61-72.
- Hintz RL. 1980. Genetics of performance in the horse. *Journal of Animal Science* **51**, 582-594.
- Hintz RL, Hintz HF, Van Vleck LD. 1978. Estimation of heritabilities for weight, height and front cannon bone circumference of Thoroughbreds. *Journal of Animal Science* **47**, 1243-1245.
- 石崎三郎, 本沢昌一, 篠原旭男, 小山錦也. 1954. 馬の体重と役力との関係—馬の大きさとの関係—. *日本畜産学会報* **25**, 168-173.
- Kaps M, Curik I, Baban M. 2010. Modeling variance structure of body shape traits of Lipizzan horses. *Journal of Animal Science* **88**, 2868-2882.
- Kashiwamura F, Avgandorj A, Furumura K. 2001. Relationships among body size, conformation, and racing performance in Banei Draft Racehorses. *Journal of Equine Science* **12**, 1-7.
- Langlois B, Bloui C. 2012. Genetic parameters for gestation length in French horse breeds. *Livestock Science* **146**, 133-139.
- Legarra A, Misztal I, Bertrand JK. 2004. Constructing covariance functions for random regression models for growth in Gelbvieh beef cattle. *Journal of Animal Science* **82**, 1564-1571.
- Mantovani R, Pigozzi G, Bittante G. 2005. The Italian Heavy Draught Horse breed : origin, breeding program, efficiency of the selection scheme and inbreeding. In : Bodó I, Alderson L, Langlois B (eds), *Conservation Genetics of Endangered Horse Breeds*, EAAP Publication No. 116, pp. 155-162. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- Meyer K. 1992. Variance components due to direct and maternal effects for growth traits of Australian beef cattle. *Livestock Production Science* **31**, 179-204.

- Meyer K, Carrick MJ, Donnelly BJ. 1993. Genetic parameters for growth traits of Australian beef cattle from a multibreed selection experiment. *Journal of Animal Science* **71**, 2614-2622.
- Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH, Ducrocq V, Elsen JM, Minvielle F. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). In : *Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Montpellier France*. Communication No. 28-07.
- Molina, A, Valera M, Dos Santos R, Rodero A. 1999. Genetic parameters of morphofunctional traits in Andalusian horse. *Livestock Production Science* **60**, 295-303.
- Nobre PRC, Misztal I, Tsuruta S, Bertrand JK, Silva LOC, Lopes PS. 2003. Analyses of growth curves of Nelore cattle by multiple-trait and random regression models. *Journal of Animal Science* **81**, 918-926.
- 農林水産省. 2010. 家畜改良増殖目標 (平成 22 年 7 月). [homepage on the Internet]. 農林水産省, 東京 : [cited 30 April 2013]. Available from URL : http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_katiku/pdf/h2207_katiku_mokuhyo.pdf
- 農林水産省. 2012. 馬関係資料 (平成 24 年 3 月). [homepage on the Internet]. 農林水産省, 東京 : [cited 30 April 2013]. Available from URL : <http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/pdf/umah23.pdf>
- Pool-Anderson K, Raub RH, Warren JA. 1994. Maternal influences on growth and development of full-sibling foals. *Journal of Animal Science* **72**, 1661-1666.
- Rhoad AO. 1929. Relation between conformation and pulling ability of draft horses. *Journal of Animal Science* **1929**, 182-188.
- Saastamoinen M. 1990. Heritabilities for body size and growth rate and phenotypic correlations among measurements in young horses. *Acta Agriculturae Scandinavica* **40**, 377-386.
- Safari E, Fogarty NM, Gilmour AR. 2005. A review of genetic parameter estimates for wool, growth, meat and reproduction traits in sheep. *Livestock Production Science* **92**, 271-289.
- Schaeffer LR. 2004. Application of random regression models in animal breeding. *Livestock Production Science* **86**, 35-45.
- Suontama M, Saastamoinen MT, Ojala M. 2009. Estimates of non-genetic effects and genetic parameters for body measures and subjectively scored traits in Finnhorse trotters. *Livestock Science* **124**, 205-209.
- Willham RL. 1972. The role of maternal effects in animal breeding: III. Biometrical aspects of maternal effects in animals. *Journal of Animal Science* **35**, 1288-1293.
- 山本 修, 朝井 洋, 楠瀬 良. 1993. サラブレッド種子馬の発育に対する性別, 生まれ月, 産次, 母馬の体重および牧場の影響. *日本畜産学会報* **64**, 491-498.
- Zechner P, Zohman F, Sölkner J, Bodo I, Habe F, Marti E, Brem G. 2001. Morphological description of the Lipizzan horse population. *Livestock Production Science* **69**, 163-177.

Estimation of genetic parameters for body weight and ten body measurements at different age stages in Breton and Percheron horses

Yutaka MASUDA¹, Yoshihiro KUBO², Daisuke YAMASHITA³, Fumiro KASHIWAMURA¹
and Mitsuyoshi SUZUKI¹

¹ Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro 080-8555, Japan

² Tokachi Station, National Livestock Breeding Center, Otofuke, Hokkaido 080-0572, Japan

³ Japan Equine Affairs Association, Chuo, Tokyo 104-0033, Japan

Corresponding : Yutaka MASUDA (fax : +81 (0) 155-49-5414, e-mail : masuday@obihiro.ac.jp)

We estimated the genetic parameters for body weight and ten measurements (height at withers, height at croup, body length, chest depth, chest width, hip width, croup width, rump length, chest girth, and cannon bone circumference) at different ages in Breton and Percheron horses. Data included 307 Breton and 324 Percheron horses born between 1999 and 2011 at the Tokachi Station, National Livestock Breeding Center, Japan. The animals were measured every two months on average. Three age groups (birth to 6 months for stage 1, 7 to 19 months for stage 2, and 20 to 34 months for stage 3) were defined. Each stage was treated as a different character and a three-trait animal model was applied for the estimation of variance components. Heritabilities for Breton for each stage ranged from 0.05 to 0.36, 0.16 to 0.54, and 0.08 to 0.66, and 0.05 to 0.38, 0.03 to 0.76, and 0.23 to 0.84 for Percheron. Genetic correlations between stages were all positive in both breeds and ranged from 0.37 to 1.00.

Nihon Chikusan Gakkaiho 85 (1), 1-12, 2014

Key words : growth, horse, multiple-trait model.