

ばんえい競走馬の能力検定後馬体重に関する遺伝率の推定

中堀祐香¹・高野直樹¹・大江史晃²・齊藤朋子¹・萩谷功一¹

¹ 帯広畜産大学, 帯広市 080-8555

² 北海道有線放送, 帯広市 080-0023

(2017. 12. 23 受付, 2018. 7. 5 受理)

要約 本研究は、ばんえい競走馬における能力検定後馬体重（馬体重）を適切に説明する数学モデルの選択および遺伝率を推定することを目的とした。データは、2007年から2016年までに能力検定に合格した重種馬1,849頭の品種、性別、生産地市町村および馬体重の記録、および27,214個体を含む血縁個体である。測定時月齢は、能力検定合格回次の検定実施月と誕生月の記録から推定した。遺伝分析に用いる数学モデルを決定するため、測定年、性別、測定時月齢および生産地市町村を組み合わせた複数の母数効果モデルを仮定した。赤池の情報量規準、ベイズの情報量規準および決定係数より、遺伝分析には、測定年、性別および月齢を母数効果として含むアニマルモデルを採用した。馬体重の遺伝率推定値は、中程度（0.47）であったことから、遺伝的改良が可能な形質である。

日本畜産学会報 89 (4), 409-414, 2018

キーワード：遺伝率、能力検定時馬体重、ばんえい競走馬

ばんえい競走馬は、重種馬が直線200mのダートコースでソリを引く競馬であり、現在北海道帯広市においてのみ開催されている。農村娯楽として行われていた鞍馬大会をルーツとしており、1947年から馬券発売を伴う公営競技として開催が行われるようになった（古林2006）。使用される重種馬は、農耕用にフランスから導入されたペルシュロン種とブルトン種を基礎とした交雑種である。1970年代からはこれらの重種馬にベルジアン種が交雑された。重種馬は、トラクターなどの農機具の発達によって農耕用として利用されなくなって以降、ばんえい競走用および肉用が主要な用途である。ペルシュロン種、ブルトン種およびベルジアン種のうち2品種以上が交雑された馬はすべて半血種と呼ばれていた。2003年以降、異なる純血種を両親とする個体を除き、これらの重種馬は日本鞍系種と呼称されるようになった（柏村2008）。現在のばんえい競馬に使われている馬はほとんどが日本鞍系種である。

ばんえい競馬のコースの途中には2つの盛り土による障害が設置されており、ソリの後端がゴールラインを通過するまでのタイムが競われる。サラブレッドの競馬がコースの長さや馬場の種類でレースに多様性をもたせているのに対し、ばんえい競馬は常に同じコースを使用し、課される負担重量に幅を設定することでレースに多様性をもたせている。負担重量は、460kg程度から、年度末に行われる重賞「ばんえい記念」において課される1000kgの範囲である。そのため、ばんえい競走馬にはスピード、持久

連絡者：萩谷功一（e-mail：hagiya@obihiro.ac.jp）

力の他にけん引能力が必要とされる。けん引能力は体重と正の関係があることが報告されている（石埼ら1954）。また、ばん用馬は運動性に富み、けん引能力が高いこと、肥育用馬は早熟で発育がよく、産肉能力が高いことを目指した改良が望まれている（農林水産省2015）。これらを考慮すると、体重は重種馬生産において重要な形質である。

ばんえい競馬では年齢や獲得賞金額によってレースが編成されており、ほぼすべての馬は2歳時に初出走を迎える。レースに出走するためには、競走馬登録後、能力検定を受検して合格する必要がある。能力検定は毎年4月から10月にかけて10回程度行われ、レースに使われる本走路でソリを引いて真っ直ぐ走れること、規定時間内に走破できることが合格基準となる。能力検定に合格するとおよそ1週間後に馬体検査があり、その際、能力検定後馬体重（以下、馬体重）が記録される。

増田ら（2014）は、農用馬を対象とし、家畜改良センター十勝牧場で生産された集団に関して体重ならびに体尺測定値に関わる遺伝分析結果を報告した。馬のフィールドデータを扱った過去の研究に注目すると、主に欧州において、スウェーデン温血馬など競技用馬種の成績に関わる要因や遺伝的パラメーターに関する研究結果が報告されている（Olssonら2000；Thorén Hellstenら2006）。Okiら（1995）は、日本国内のサラブレッド集団における競走タイムの遺伝率を推定した。山口ら（2002）は、ばんえい競馬における登坂運動の画像解析を行い、競走成績に影響

を及ぼす要因を調査した。Kashiwamuraら(2001)は、ばんえい競走馬の体格測定記録と競走能力の関連を調査し、体の大きさや馬体重が競技成績に関連していることを報告した。しかしながら、ばんえい競走馬に関する報告は馬術競技馬や軽種競走馬を対象とした研究と比較すると少なく、また、ばんえい競走馬の体重に関する遺伝分析例はほとんど報告されていない。

本研究は、ばんえい競走馬における馬体重に影響する要因を適切に説明する数学モデルを選択するとともに、その遺伝率を推定することを目的とした。

材料および方法

データは北海道有線放送(帯広市)のばんえい十勝番組編成グループが集積した2007年から2016年の間に能力検定に合格した重種馬1,849頭の品種、性別、誕生月、生産地市町村および馬体重の記録である。血縁は家畜改良データバンクに含まれる日本馬事協会が公表している血縁記録(日本馬事協会2017)を検索し、可能な限り溯り、合計27,214個体を遺伝分析に使用した。測定時月齢(以下、月齢)は、体重測定が能力検定後一週間で行われたと仮定し、合格回次の検定実施年月と誕生年月の記録から推定した。品種には日本純系種、ペルシュロン種およびブルトン種が含まれた。しかしながら、能力検定に合格したペルシュロン種とブルトン種が存在せず、馬体重の記録を持つ個体のすべてが日本純系種であったことから、品種の効果を考慮しなかった。馬体重は平均 828 ± 56 kgであり、正規分布に近似した(図1)。遺伝分析に用いる数学モデルを決定するため、性別、測定年、月齢とそれら間の交互作用および生産地市町村を組み合わせた複数の母数効果モデルを仮定した。予備分析において誕生月と月齢効果間に交絡が認められたため、遺伝分析において誕生月の効果を除外した。この現象は馬の誕生月が春に集中していること、

能力検定が2歳時に実施され、多くの個体が4月に受検することから誕生月の違いと月齢間に強い負の相関関係が存在したことによる。

多くの生産農家は規模が小さく、同期個体をもたない記録が多く存在した。また、調教師の効果を含める場合、1個体に対して複数の調教師が関わっている例が存在し、区分が複雑になる。以上より、本研究において生産農家および調教師の効果は考慮しなかった。使用するモデルは赤池の情報量規準(AIC)、ベイズの情報量規準(BIC)および決定係数をもとに検討した。分析にはR(R Core Team 2017)を使用した。

馬体重の遺伝率および遺伝的趨勢の推定には、以下のアニマルモデルを使用した。

$$y_{ijkl} = Y_i + A_j + S_k + a_l + e_{ijkl}$$

ここで、 y_{ijkl} = 馬体重に関する観測値、 Y_i = 測定年*i*の母数効果(9区分)、 A_j = 月齢*j*の母数効果(8区分)、 S_k = 性別*k*の母数効果(3区分)、 a_l = 個体*l*の相加的遺伝効果、 e_{ijkl} = 残差効果である。測定年、月齢および性別に関する区分ごとの記録数を表1に示した。測定年について、2009年の記録が1件のみであったため、分析の際に除外した。2009年および2010年の記録数は少ないが、これらの年の馬体重記録の多くが欠測であったことに起因している。分散成分、最良線形不偏推定量および最良線形不偏予測量の推定にはAIREMLf90プログラム(Misztalら2002)を使用した。

結 果

各数学モデルのAIC、BICおよび決定係数を表2に示した。AIC最小は測定年、性別、月齢および測定年×性別の相互作用を含む数学モデル、BIC最小は性別のみを含む数学モデル、決定係数最大は測定年、性別、月齢およ

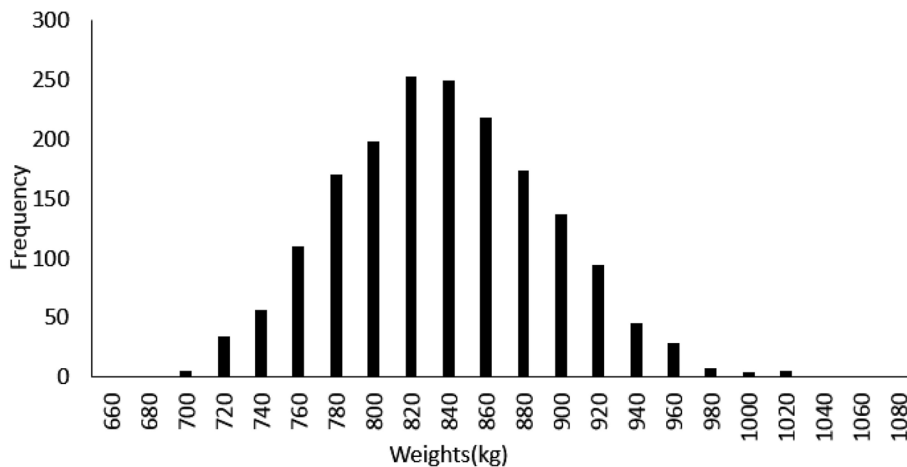


Figure 1 Frequency of body weights after the performance test of Banei racing horses (n = 1,849), rounded to the nearest 20 kg.

Table 1 Numbers of records by sex, year of the performance test, and age at the performance test of Banei racing horses

Year	Sex	Age (mo)
2007	Colt	1002
2008	Filly	817
2010	Gelding	30
2011		25
2012		26
2013		27
2014		28
2015		29
2016		224

Table 2 Akaike's information criteria (AIC), Bayesian information criteria (BIC), and coefficient of determination (R^2) of linear models used in this study

Model ¹	AIC	BIC	R^2
Y	188.2	143.5	0.03
S	83.4	0.0	0.08
A	191.8	152.6	0.01
R	234.6	217.5	0.01
Y+S	49.8	16.1	0.10
Y+A	147.0	157.4	0.04
Y+R	193.1	225.7	0.04
S+A	40.1	11.9	0.09
S+R	90.5	84.4	0.09
A+R	194.3	232.4	0.02
Y+S+A	2.8	24.3	0.11
Y+S+R	56.9	100.5	0.11
Y+A+R	149.3	237.0	0.05
S+A+R	44.2	93.3	0.10
Y+S+A+Y×S	0.0	98.8	0.13
Y+S+A+Y×A	53.2	367.3	0.14
Y+S+A+S×A	3.2	96.4	0.13

¹Y = year of the performance test, S = sex, A = age at the performance test (mo) and R = region at birth

び測定年×月齢の相互作用を含む数学モデルであった。生産地市町村の効果を含む数学モデルはいずれも AIC, BIC により選択されなかったため、ともに遺伝分析に含めなかった。AIC および BIC のそれぞれで最適とされたモデルは異なったため、両情報量規準ともに値が小さかった測定年、性別および月齢を母数効果として遺伝分析モデルに含めた。遺伝分散、残差分散および遺伝率推定値を表 3 に示した。馬体重に関する遺伝率は 0.47 であった。

測定年および性別に関する母数効果の推定値を表 4 に示した。測定年効果に一貫した傾向は認められなかった。性別の効果は牡馬、セン馬、牝馬の順に高かった。月齢効

Table 3 Estimates and standard error for additive genetic variance (σ_a^2), residual variance (σ_e^2), and heritability (h^2) of body weights of horses

	Estimates	Standard error
σ_a^2	1390	162.9
σ_e^2	1553	0.001
h^2	0.47	0.22

Table 4 Estimates of fixed effect by year and sex

	Estimates (kg)
Year	
2007	0.0
2008	-11.7
2010	-23.4
2011	-17.4
2012	-26.2
2013	-30.5
2014	-19.2
2015	-15.8
2016	-23.1
Sex	
Colt	906.8
Filly	876.6
Gelding	879.5

果は、22 ヶ月齢から 29 ヶ月齢にかけて増加傾向が認められた (図 2)。月齢効果推定値に対する一次回帰係数より、この期間における一月あたりの馬体重増加量は 3.0 kg 程度と推察した。

馬体重に関する遺伝的趨勢を図 3 に示した。平均育種価は 1980 年以降ほぼ一定であった。

考 察

本研究において、AIC および BIC のそれぞれで最適とされた数学モデルは異なったが、このことは、パラメーター数に対する処理の違いに起因すると推察した。それにより、AIC は水準数が最大の数学モデル、BIC は水準数が最小の数学モデルをそれぞれ選択した。各情報量規準によって選択された効果数が極端に異なったことから、2 種類の情報量規準を適度に満たす数学モデルを最適と判断した。

本研究において馬体重に関して中程度の遺伝率 (0.47) が推定された。増田ら (2014) は日本国内の農用馬の体重に関する遺伝率を推定し、ブルトン種で 0.21 から 0.48、およびペルシュロン種で 0.28 から 0.69 の範囲と報告した。Saastamoinen (1990) は、フィンランド在来馬の体重の推定遺伝率が 0.22 から 0.88 の範囲であるとした。本研究における遺伝率推定値はこれらの範囲内であった。馬体重に関する遺伝率推定値は、日本国内において顕著な



Figure 2 Effect of age on body weights after the performance test of Banei racing horses.

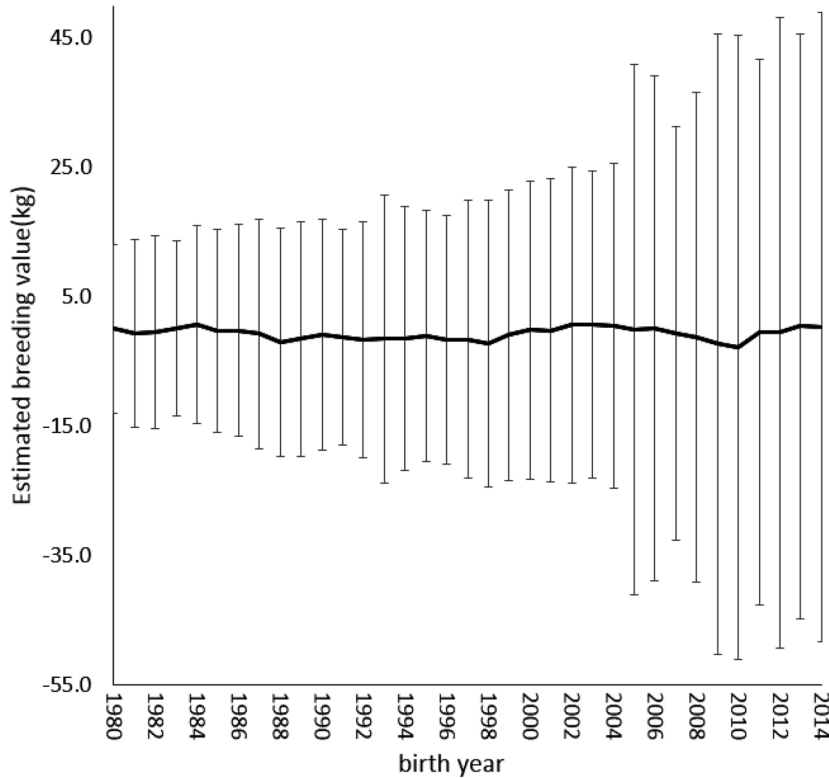


Figure 3 Genetic trend of body weight after the performance test of Banei racing horses.

遺伝的改良量が報告されているホルスタイン種の乳量 (Interbull 2017) に関する推定値 (0.50) と同程度であった。このことから、馬体重は遺伝的改良が有効な形質であると推察した。馬肉の消費量は 2012 年以降増加傾向にある (農林水産省 2017)。今後も馬肉の需要が増加し続けるならば、馬肉の生産性向上のために馬体重の改良は望ましい。ここで使用した馬体重のデータは能力検定に合格し

た個体の情報に限られる。そのため、本研究のデータから馬体重と能力検定における成績の関連を調査することは難しい。しかしながら、馬体重と競走能力間の遺伝的関連性が明らかになれば、馬体重による競走能力の間接選抜の可能性が検討できる。また、馬体重と競走能力の結果間に強い遺伝相関が存在した場合、能力検定による選抜が本研究における馬体重の遺伝率に影響した可能性について検討す

ることが望ましい。

性別に関する母数効果推定値において牡馬の馬体重は、牝馬およびセン馬より 30 kg 程度高かった。このことは、国内サラブレッドにおいて牡馬が牝馬より体重が重いと報告した Oki (1988) の結果と一致した。本研究において、22 ヶ月齢から 29 ヶ月齢までの月齢効果推定値に対してあてはめた直線回帰について高い決定係数 (0.73) が得られた。Hois ら (2005) による複数品種の馬体重増加に関する報告によると、300 日齢を過ぎると馬の成長は緩やかになり、生後 2 年で母親の体重の 88% 程度に達する。これらより、本研究における馬体重はその多くが緩やかな成長段階の記録であり、今後の馬体重に関する分析において月齢効果を共変量として数学モデルに含めることが可能であると推察した。

遺伝的趨勢は 1980 年代以降ほぼ一定で推移した。2005 年以降は記録を持つ個体が多いため、推定育種価の標準誤差が拡大したと推察した。平均育種価の変動は 4 kg 程度であり、その値は、本研究における遺伝分散推定値より算出した遺伝標準偏差 (37.3 kg) の 10% 程度であった。農用馬は、肉用牛や乳用牛のように遺伝改良システムが構築されておらず、選抜のために利用できる情報が少ない。このことが遺伝的趨勢の停滞に関わる要因のひとつであると推察した。馬体重の改良は、馬肉生産性の向上や競走能力の向上に寄与する可能性がある。一方、農用馬の生産頭数は 1997 年以降一貫して減少している (農林水産省 2017) ことから、選抜の際、遺伝的多様性の確保および近親交配の回避が課題となる。

本研究は、ばんえい競走馬における馬体重の遺伝率を推定するため、測定年、性別および月齢を母数効果として含めたアニマルモデルを採用した。馬体重は 22 ヶ月齢から 29 ヶ月齢まで増加傾向を示し、その増加量は一月あたり 3.0 kg 程度であった。馬体重の遺伝率推定値は中程度 (0.47) であったことから、遺伝的改良が可能な形質であるといえる。

文 献

古林英一. 2006. 鞍馬大会から鞍曳競馬へ—1960 年の資料を中心に— (1) *Hippophile* **26**, 16-25.
 Hois C, Kienzle E, Schulze A. 2005. Prediction of body weight and weight development in growing horses. *Pferdeheilkunde Equine Medicine* **21**, 552-558.
 Interbull. 2017. National genetic evaluation forms provided by countries. Interbull, Uppsala, Sweden ; [cited 30 November 2017]. Available from URL <http://www.interbull.org/ib/geforms>
 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—馬の大きさと役力との関係 IV. 日本畜産学会報 **25**, 168-173.

柏村文郎. 2008. 世界のドラフトホース (7) ハンガリー, 海外総集編および日本の農用馬. *Hippophile* **31**, 21-27.
 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.
 増田 豊, 久保喜広, 山下大輔, 柏村文郎, 鈴木三義. 2014. 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. 日本畜産学会報 **85**, 1-12.
 Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). *Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Montpellier, France, CD-ROM Communication **28**, 07.
 日本馬事協会. 2017. 家畜改良データバンク 日本馬事協会. 日本馬事協会, 東京 ; [cited 30 November 2017]. Available from URL <http://www.rg.liaj.jp/bj/b1.do>
 農林水産省. 2015. 家畜改良増殖目標. 農林水産省畜産部畜産振興課. 東京 ; [cited 30 November 2017]. Available from URL http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/_hosin/pdf/h27_katiku_mokuhyo.pdf
 農林水産省. 2017. H28 馬関係資料. 農林水産省畜産部畜産振興課. 東京 ; [cited 19 April 2018]. Available from URL <http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/attach/pdf/sonota-25.pdf>
 Oki H. 1988. An estimation of the body weight in thoroughbreds based on several exterior measurements. *The Japanese Journal of Zootechnical Science* **59**, 725-732.
 Oki H, Sasaki Y, Willham RL. 1995. Genetic parameter estimates for racing time by restricted maximum likelihood in the Thoroughbred horse of Japan. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **112**, 146-150.
 Olsson EG, Arnason T, Nasholm A, Philipsson J. 2000. Genetic parameters for traits at performance test of stallions and correlations with traits at progeny tests in Swedish warmblood horses. *Livestock Production Science* **65**, 81-89.
 R Core Team. 2017. R : A language and environment for statistical computing. The R Project for Statistical Computing, Vienna, Austria ; [cited 30 November 2017]. Available from URL <https://www.R-project.org/>
 Saastamoinen M. 1990. Heritabilities for Body Size and Growth Rate and Phenotypic Correlations among Measurements in Young Horses. *Acta Agriculturae Scandinavica* **40**, 377-386.
 Thorén Hellsten E, Viklund Å, Koenen EPC, Ricard A, Bruns E, Philipsson J. 2006. Review of genetic parameters estimated at stallion and young horse performance tests and their correlations with later results in dressage and show-jumping competition. *Livestock Science* **103**, 1-12.
 山口 諭, 鈴木三義, 口田圭吾, 瀬尾哲也, 古村圭子, 柏村文郎. 2002. ばんえい競馬における第 2 障害の登坂運動の画像解析と競走成績に影響を及ぼす要因について. 北海道畜産学会報 **44**, 47-51.

Estimation of heritability of body weight after the performance test of Banei racing horse

Yuka NAKAHORI¹, Naoki TAKANO¹, Fumiaki OHE², Tomoko SAITOH¹ and Koichi HAGIYA¹

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

² Hokkaido Yusen Hosokawa KK, Obihiro 080-0023, Japan

Corresponding : Koichi HAGIYA (e-mail : hagiya@obihiro.ac.jp)

The objectives of this study were to select appropriate model for genetic evaluation and to estimate the heritability of body weight after the performance test of Banei racing horses. The record of body weight was measured at 1 week after passing the performance test. Data of 1849 Banei racing horses from 2007 to 2016 and the pedigree records of 27,214 animals were used. The records contained information regarding breed, sex, region of birth, and body weight at the performance test of horses that passed the test. Age at the performance test was estimated by using the birth month and date at the performance test. Akaike and Bayesian information criteria and coefficient of determination of least squared method were used to determine appropriate combinations of fixed effects of year, sex, age at performance test, and region of birth. An animal model that included year, sex, and age at performance test as fixed effects was selected. Because the model estimated moderate heritability (0.47) of body weight after the performance test, genetic improvement of this trait might be possible.

Nihon Chikusan Gakkaiho 89 (4), 409-414, 2018

Key words : Banei racing horse, body weight at performance test, heritability.