Heritability of Annual Earnings in Thoroughbreds*

Yasuyoshi MORITSU, Yuka KIMURA, and Shun ICHIKAWA

Laboratory of Animal Breeding, Department of Dairy Science, Hokkaido College of Arts and Science, Ebetsu, Hokkaido 069, Japan

(Received 29 July 1991/Accepted 15 October 1991)

The heritabilities of annual earnings in Thoroughbreds of the Japan Racing Association were investigated and estimated using SAS. The records of annual earnings were obtained from the Japanese Racing Annual, in which each horse's record is given by sire. The data of 3-, 4- and 5-yr-old horses from the six years 1982 to 1987 were used, and the data were restricted to include the offspring of sires having at least 30, 50 and 20 progeny for 3-, 4- and 5-yr-old horses, respectively. The total numbers of sires and progeny in the age classes were 72, 84, 82 and 3675, 7999, 3454, respectively. In the linear model, the year of the race and sex were assumed to be fixed effects, while sire and residual were assumed random effects. Heritabilities were calculated based on the intraclass correlation of paternal half-sibs. Since the distribution of annual earnings did not distribute normally, the three transformations of square root, fourth root and natural logarithm were applied. The heritabilities obtained by square root transformation tended to be the highest estimates. By age group, the heritability estimates were the greatest for 3-yr-old horses, followed by 4-yr-old horses, and the lowest estimates less than 0.08 were obtained for 5-yr-old horses. The heritabilities of annual average earnings, as annual earnings per start, were higher than annual earnings for 3-yr-old horses. In this case, the highest estimates of heritability were obtained by square root transformation, when variance components were computed by TYPE 1 and REML in SAS, these estimates were 0.25 and 0.23, respectively.

Key words: annual earnings, heritability, Thoroughbreds

Jpn. J. Equine Sci. 2 : 11-16, 1991

サラブレッド種における年間収得賞金額の遺伝率

森津康喜, 木村友香, 市川 舜

北海道文理科学短期大学酪農科家畜育種学研究室 〒069 北海道江別市文京台緑町582-1

サラブレッド種の競走能力を示す評価値としては、一般に収得賞金額、走行タイム、負担重量と着差に基づく performance rate などが広く知られている。これら評価値の遺伝率については、Langlois と Tolley らが総説のなかでこれまでに報告された各国研究者の推定値を詳細に紹介している [3,9]。この内で収得賞金額の推定値を見ると、その値は報告者によって変動の大きいことが

窺われる。またわが国での報告例は、渡辺らが3歳馬を対象に推定した0.49の値が示されているのみである[10]。

一方、種雄馬の能力を後代の記録から評価する時、後代の競走能力の評価値をどれにするかは重要な問題となるが、年間収得賞金額を用いる方法は、他の評価値を採用するよりも要因の補正や集計が簡便であることから、現在も一部でリーディ

* In this paper, the age of horses are based on Japan Racing Association Standards whereby a horse is considered a 1-y-o at birth. Therefore, a 2-y-o in Japan is a yearling in other countries, 3-y-o is a 2-y-o, etc.

ング・サイアー・ランキングやアーニング・インデックスという名称で種雄馬評価に利用されている。こうした現状を考慮して、Ojala はフィンランドの Trotter 用種を対象に、各年度ごとに集計された競走記録を遺伝的評価も加えて有効に利用することを目的とし、出走年齢別にそれらの分布特性と遺伝率の推定を行なっている [5]。これに対してわが国のサラブレッド種の競走記録について同様な検討を加えた報告は見あたらない。

そこで本研究は、サラブレッド種の年間取得賞金額を取り上げ、各出走年齢別に分布特性と遺伝率を推定し、それらの特徴を把握することを目的に行なった。

材料と方法

供試記録は、中央競馬において出走し、サラブレッド血統センター発刊の競馬年鑑に掲載された、各馬の年度ごとの種雄馬別競走成績である。分析に用いたデータは、このなかで1982年度から1987年度までの6年間に得られた各馬の競走成績である。この内、去勢馬と障害出走馬をあらかじめ除外し、その後3歳産子で30頭、4歳産子で50頭、5歳産子では20頭以上の競走成績を持つ種雄馬の後代の記録を取り上げた。分析に用いられた各年齢ごとの父馬数とその後代総数は Table 1 に示す通りであった。

遺伝率は、年間取得賞金額とそれを出走回数で除した出走当り平均取得賞金額（平均取得賞金額とする）の2項目について推定した。さらにそれらのうちで取得賞金額の分布を正規分布に近似させる手法として良く用いられる平方根、4乗根、および自然対数変換値についても遺伝率を推定し、評価値の最適な尺度変換についても検討を加えた。

なお各出走年齢別の年間取得金額とその変換値の分布特性値および Kolmogorov による正規性の検定は、統計分析システム SAS の UNIVARI-

ATE プロシジャを用いて計算を行なった[6]。また遺伝率推定の統計モデルは、出走年度と性を母数効果とし、父ウマと残差を変量効果とする次式を仮定した。

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + S_j + G_k + e_{ijkl}$$

ここで

Y_{ijkl} : 後代の形質値

μ : 全平均

T_i : i 番目の出走年度に共通な効果 ($i = 1, 2, \sim, 6$)

S_j : j 番目の性に共通な効果 ($j = 1, 2$)

G_k : k 番目の父ウマに共通な効果 ($k = 1, 2, \sim, 72; 84; 82$)

e_{ijkl} : 残差

計算には、同じく SAS の VARCOMP プロシジャを用い、父ウマ分散と残差分散成分の推定は、オプションにある4種手法の内から TYPE 1 法と制限付き最尤 (REML) 法との二通りの手法により行なって、両者の比較をすることも試みた[7]。遺伝率の値は、得られた分散成分の推定値を用いて半きょうだい相関法によって求め、その標準誤差は Swiger らの方法で推定した[8]。

結 果

出走年齢別に個々の遺伝率を推定するのに先立ち、まず年間取得賞金額と平均取得賞金額の2項目の分布特性をとらえるために、その平均値、標準偏差、変動係数および歪度、尖度を Table 2 と Table 3 に示した。Table 2 を見ると、年間取得賞金額の平均値は出走時の年齢が進むにつれて増加する傾向にあるが、いずれの標準偏差も極めて大きく、変動係数はいずれも150%を越える値であった。また分布の特性を表わす歪度と尖度の値は、用いた記録が正規分布であるならばこの場合はそれぞれ0を示すが、得られた値はどれもこれらの値からかけ離れたものであった。一方、

Table 1. Number of horses and sires by age-of-horse group in data used for estimation of heritabilities

Age of horse	No. of horses			No. of sires
	Total	Female	Male	
3 years	3,675	1,665	2,010	72
4 years	7,999	3,737	4,262	84
5 years	3,454	1,385	2,069	82

Data were restricted to include offspring of sires having at least thirty (3-yr), fifty (4-yr), twenty (5-yr) progeny.

Table 2. Distributional properties of annual earnings (E) for horses in three age groups

Age of horse and transformation	Mean	SD	CV (%)	Skewness	Kurtosis
3 years					
Earnings (E) ^a	376.1	593.0	157.7	4.3	28.5
Square root of E	14.7	12.7	86.3	1.0	1.8
Fourth root of E	3.2	2.1	66.4	-0.4	-0.9
Natural logarithm of E	4.2	2.6	62.6	-0.7	-1.0
4 years					
Earnings (E) ^a	742.1	1376.3	185.5	9.0	150.0
Square root of E ^b	20.5	18.0	87.7	1.3	5.0
Fourth root of E	3.8	2.5	65.6	-0.3	-0.8
Natural logarithm of E	4.7	2.9	60.8	-0.8	-0.9
5 years					
Earnings (E) ^a	1035.8	1660.1	160.3	5.2	54.7
Square root of E	24.1	21.3	88.2	1.0	1.8
Fourth root of E	4.1	2.7	66.6	-0.3	-0.9
Natural logarithm of E	5.0	3.0	61.2	-0.8	-1.0

a: Expressed in ten thousand yen.

b: The smallest value of the Kolmogorov D statistic is 0.127 ($P < 0.01$) in this table.

Table 3. Distributional properties of annual earnings per start (EPS) for horses in three age groups

Age of horse and transformation	Mean	SD	CV (%)	Skewness	Kurtosis
3 years					
Earnings per start (EPS) ^a	108.5	156.0	143.8	3.5	19.7
Square root of EPS	8.0	6.7	83.7	0.8	0.9
Fourth root of EPS	2.4	1.6	65.7	-0.4	-1.0
Natural logarithm of EPS	3.4	2.2	64.3	-0.6	-1.1
4 years					
Earnings per start (EPS) ^a	96.8	199.0	205.7	10.8	187.0
Square root of EPS ^b	7.5	6.4	86.1	1.6	8.3
Fourth root of EPS	2.3	1.5	64.2	-0.4	-0.6
Natural logarithm of EPS	3.3	2.1	62.9	-0.6	-1.0
5 years					
Earnings per start (EPS) ^a	141.5	266.7	188.5	8.1	116.0
Square root of EPS	8.9	7.8	87.8	1.4	5.2
Fourth root of EPS	2.5	1.6	65.4	-0.3	-0.7
Natural logarithm of EPS	3.5	2.2	63.2	-0.6	-1.0

a: Expressed in ten thousand yen.

b: The smallest value of the Kolmogorov D statistic is 0.123 ($P < 0.01$) in this table.

年間取得賞金額を平方根、4乗根と自然対数に変換した値は、どの年齢においても、変動係数はかなり小さくなり、なかでも自然対数変換値は60%前後の値を示し顕著に小さくなった。さらに歪度と尖度においても、各変換値はKolmogorovの正規性の検定結果からは外れるものの、記録の分布をある程度は正規分布に近づけることを窺わせた。

Table 3に示した平均取得賞金額の特性は、平均値において、年齢ごとの差があまり小さくなくなった点を除き、標準偏差、変動係数、歪度と尖度は、年間取得賞金額の結果とほぼ同様の傾向を示し、また3種の変換の影響も、両者の間で大き

な相違は見られなかった。

年間取得賞金額と各変換値について、出走年齢ごとに求めた遺伝率とその標準誤差を分散成分の2つの推定方法別にTable 4に示した。年齢ごとの遺伝率を比べると、いずれも3歳馬の値が最も高く、ついで4歳馬の値はこれよりもわずかに低下し、さらに5歳馬になるとその値は0.08以下とかなり低く推定された。分散成分の推定方法間で比較すると、3歳馬と4歳馬でTYPE 1法よりもREML法を用いた方が遺伝率はやや小さく推定される傾向を示したが、その影響は比較的小さかった。一方、取得賞金額を各種変換したときの

Table 4. Estimates of heritability (h^2) and standard errors (SE) of annual earnings (E) for Thoroughbreds by age-of-horse group

Method and transformation	Age of horse					
	3 years		4 years		5 years	
	h^2	SE	h^2	SE	h^2	SE
TYPE 1 ^a						
Earnings (E)	0.12	0.03	0.08	0.02	0.05	0.02
Square root of E	0.18	0.04	0.14	0.03	0.08	0.03
Fourth root of E	0.16	0.04	0.13	0.03	0.07	0.03
Natural logarithm of E	0.14	0.03	0.11	0.02	0.06	0.02
REML ^b						
Earnings (E)	0.11	0.03	0.08	0.02	0.06	0.02
Square root of E	0.16	0.04	0.13	0.03	0.08	0.03
Fourth root of E	0.15	0.04	0.12	0.02	0.07	0.03
Natural logarithm of E	0.13	0.03	0.10	0.02	0.06	0.02

a: Variance components estimated by the TYPE 1 method.

b: Variance components estimated by the REML method.

Table 5. Estimates of heritability (h^2) and standard errors (SE) of annual earnings per start (EPS) for Thoroughbreds by age-of-horse group

Method and transformation	Age of horse					
	3 years		4 years		5 years	
	h^2	SE	h^2	SE	h^2	SE
TYPE 1 ^a						
Earnings per start (EPS)	0.22	0.05	0.08	0.02	0.04	0.02
Square root of EPS	0.25	0.05	0.15	0.03	0.08	0.03
Fourth root of EPS	0.20	0.04	0.13	0.03	0.07	0.03
Natural logarithm of EPS	0.19	0.04	0.12	0.03	0.07	0.03
REML ^b						
Earnings per start (EPS)	0.19	0.04	0.07	0.02	0.05	0.02
Square root of EPS	0.23	0.05	0.13	0.03	0.08	0.03
Fourth root of EPS	0.18	0.04	0.12	0.02	0.07	0.03
Natural logarithm of EPS	0.17	0.04	0.12	0.02	0.07	0.03

a: Variance components estimated by the TYPE 1 method.

b: Variance components estimated by the REML method.

遺伝率は、いずれの年齢においても、無変換の値よりも大きく、平方根変換は最も高い値を示し、次に4乗根変換、そして自然対数変換の順であった。また、得られた遺伝率の標準誤差は全般に0.02~0.04の範囲で小さかった。

Table 5 には平均収得賞金額における各遺伝率とその標準誤差を示した。年齢ごとの遺伝率を比べると、ここでも3歳馬の値が最も高く、ついで4歳馬、5歳馬の順であった。しかし、4歳馬と5歳馬の値は先の Table 4 とほぼ同程度の範囲なのに対して、3歳馬の遺伝率は出走回数を考慮することで0.20前後のさらに高い値が得られた。分散成分の推定方法の相違による影響は Table 4 と同じ傾向にあったが、各変換値の遺伝率はやや異

なり、4歳馬と5歳馬では変換に伴っていずれも無変換よりも高い値が得られたのに対し、3歳馬では平方根変換を除きこのような傾向は得られなかった。しかし、平方根変換値の遺伝率はいずれの年齢でも一番高く推定されたことは Table 4 と同様であり、特に3歳馬の値は TYPE 1 法で0.25、REML 法で0.23となって、本研究で推定された遺伝率の内では最も高かった。

考 察

競走馬の能力評価値として年間収得賞金額を用いる時、この値の分布は、0ないし低額値の個体が多数存在する一方でそれよりも高額値の個体は徐々に少なくなっていくことから、その分布は指

数曲線状になる。このため取得賞金額の遺伝率を推定した報告の多くは対数変換を行なっている[3, 9]。今回の分析においても、取得賞金額の対数変換は、変動係数を小さくし、さらに分布を正規分布に近づけることが窺われた。しかし、推定された遺伝率全般を見ると、平方根変換値の遺伝率の方が対数変換値よりも高い値が示されており、この結果は、Ojala の報告と一致するものであった[5]。本来競走馬の持つ真の競走能力は正規分布を仮定できると思われるが、実際に利用できる年間取得賞金額の記録は、取得賞金額のない個体が3歳馬の例で全体の約26%と多数存在するので、こうした変換を行なっても、全体の分布を十分正規分布に改善したとは言えない。今後もこの点の適切な対処方法を検討することは必要と考えられる。

出走年齢別の遺伝率推定値は、3歳馬で最も高く、次に4歳馬、5歳馬では0.08以下と極めて低くなった。Langlois と Tolley らの総説を見るとポーランドの Fedorski はやはり5歳馬では同程度に値が低くなることを示している[3, 9]。このことは、5歳馬になると3歳、4歳の競走成績から比較的競走能力の優れたウマに限って出走していることが推定値に影響したものと推察される。また、3歳馬の遺伝率が高いのは、同年齢のウマがほぼ同じ条件で短距離の競走を行なっている点の特徴が挙げられる。3歳馬については渡辺らも既に0.49の高い遺伝率を報告しているが、それに比べて本研究の値は低いが、この相違の原因は明らかでない[10]。

年間取得賞金額と平均取得賞金額の遺伝率を比べると、3歳馬では Langlois と Ojala の報告と同様に、平均取得賞金額の遺伝率の方がより高く推定された[3, 5]。一方、4歳と5歳馬については、ほとんどその差が認められなかった。平均出走回数は、3歳馬では3.4回であるのに対し、4歳、5歳馬では7回とより多くなっている。

分散成分の推定方法は、これまで広く用いられてきた Henderson の3法と同等の TYPE 1 法と、Patterson らによって提案され、近年ウマ能力の遺伝的パラメータの推定に用いられている REML 法の両法を行なってそれらの比較を試みた[1, 2, 7]。しかし、本研究の分析結果においては、両法

の遺伝率推定値の間で特に顕著な差異はなかった。

年間取得賞金額の遺伝率を推定する際に、本研究では父ウマのほかに出走年度と性の2つの要因だけを考慮に入れて分析を行なった。この点に関して Ojala らは、フィンランドの競走馬の年間最高タイムに關与する諸要因を検討し、その中で出走年度、季節と性の3つを要因としたモデルが最も高い遺伝率であることを報告している[4]。しかし、本研究において利用された競馬年鑑の記録では限られた情報しか得られなかったことから、今回の分析は先の2要因だけを取り上げた。これに対して、山本らは既にサラブレッド種の走行タイムに關与する諸要因の影響を検討している[11, 12]。今後サラブレッド種の年間取得賞金額に關与する諸要因について同様な分析をすることは、興味ある問題と思われた。

要 約

サラブレッド種の中央競馬における各馬の年間取得賞金額記録が種雄馬別に記載されている競馬年鑑を用い、この年間取得賞金額の遺伝率について、SAS を使って推定した。供試記録は、1982年度から1987年度の6年間に3歳馬で30頭、4歳馬で50頭、5歳馬では20頭以上の後代記録を持つ種雄馬それぞれ72, 84, 82頭とその後代総数3,675, 7,999, 3,454頭を取り上げた。分析モデルは、出走年度と性を母数効果とし、父ウマと残差を変量効果と仮定し、遺伝率は半きょうだい相関法により求めた。

年間取得賞金額の分布は正規分布からかけ離れているので、平方根、4乗根と自然対数の3種変換を試みたところ、平方根変換値の遺伝率が最も高い傾向にあった。出走年齢別の遺伝率を見ると、3歳馬が一番高く、次いで4歳馬、5歳馬では0.08以下の低い値であった。出走回数を考慮した出走当たり平均取得賞金額の遺伝率は、3歳馬において年間取得賞金額の値よりも高くなり、この時の平方根変換値の遺伝率は、分散成分を SAS の TYPE 1 法で求めると0.25、制限付き最尤法で0.23となり、今回推定した各遺伝率のなかでは最も高い値を示した。

謝 辞

本研究の取りまとめにあたり, 終始有益なご助言をいただいた北海道大学農学部の清水 弘教授に深謝いたします。

引 用 文 献

1. Huizinga, H. A. and Van der Meij, G. J. W. (1989). Estimated parameters of performance in jumping and dressage competition of the Dutch Warmblood horse. *Livest. Prod. Sci.* 21: 333-345.
2. Huizinga, H. A., Boukamp, M., and Smolders, G. (1990). Estimated parameters of field performance testing of mares from the Dutch Warmblood riding horse population. *Livest. Prod. Sci.* 26: 291-299.
3. Langlois, B. (1980). Heritability of racing ability in thoroughbreds—a review. *Livest. Prod. Sci.* 7: 591-605.
4. Ojala, M., Van Vleck, L. D., and Quaas, R. L. (1987). Factors influencing best annual racing time in Finnish horses. *J. Anim. Sci.* 64: 109-116.
5. Ojala, M. (1987). Heritabilities of annually summarized race records in trotters. *J. Anim. Sci.* 64: 117-125.
6. SAS Institute Inc. (1986). SAS Procedures Guide for Personal Computers (日本語版). Version 6 Edition, pp. 394-409. SAS Institute Inc., Cary, NC.
7. SAS Institute Inc. (1988). SAS/STAT User's Guide. Release 6.03 Edition, pp. 967-978. SAS Institute Inc., Cary, NC.
8. Swiger, L. A., Harvey, W. R., Everson, D. O., and Gregory, K. E. (1964). The variance of intraclass correlation involving groups with one observation. *Biometrics* 20: 818-826.
9. Tolley, E. A., Notter, D. R., and Marlowe, T. J. (1985). A review of the inheritance of racing performance in horses. *Anim. Breed. Abstr.* 53: 163-185.
10. Watanabe, Y., Shimoizaka, T., and Sato, K. (1965). An analysis of the racing performances of thoroughbreds in Japan. *Res. Bull. Livestock Farm, Fac. Agr. Hokkaido Univ.* 1: 1-7.
11. 山本 修, 佐々木義之, 沖 博憲 (1989). サラブレッド種の走行タイムに関与する要因. 第81回日本畜産学会大会講演要旨: 140.
12. 山本 修, 佐々木義之, 沖 博憲 (1989). サラブレッド種の走行タイムに対する競走条件・開催月・年齢の影響. 第81回日本畜産学会大会講演要旨: 141.