

わが国のサラブレッド種における 白毛の遺伝について

横濱道成*・石田生男**

(平成 18 年 8 月 3 日受付/平成 19 年 3 月 15 日受理)

要約：わが国のサラブレッド種における白毛の個体は 1979 年に出現しているが、その遺伝の様式が不明なまま血統登録されることとなった。白毛の遺伝については、優性白遺伝子 (W) とサビノ遺伝子 (S) の 2 説が報告されているが、後者の遺伝子は交配データを用いた解析が実施されないまま仮定されていた。そこで本報告では、わが国のサラブレッド種に出現した白毛の家系調査を実施した結果、それは不完全優性の S 遺伝子がホモ型になった場合に発現されることが確認された。また S/s 型は刺毛や大きな白徴が特徴となるサビノ毛色を表現するが、その発現には大きなバラツキが存在する。

キーワード：サラブレッド種、白毛、サビノ遺伝子、不完全優性遺伝

I. はじめに

ウマの基本毛色は鹿毛、青毛、栗毛であるが、北海道和種馬には粕毛が 50.7% 出現する¹⁾。粕毛のホモ型は致死となることがベルジアン種で明らかにされている²⁾。この報告によって、ウマの毛色遺伝では粕毛ホモ型の致死が定説となっていた^{3,4)}。しかし、北海道和種馬の交配記録から家系調査を実施した結果、粕毛ホモ型は致死にならないことが確認された^{1,5-7)}。粕毛ホモ型の致死は品種によってその発現性が異なることが明らかになった。

一方、我が国のサラブレッド種には鹿毛および栗毛が多く出現するが、1979 年に鹿毛と栗毛の両親から白毛の個体が生まれた。この子馬 (雄) の毛色は、芦毛とは異なり生時から全身の被毛および長毛が殆ど白く、皮膚はピンクで、目は正常であった。当初は、親子関係が怪しいとか、突然変異や劣性ホモ型による現象など諸説が考えられていたが、明確な遺伝学的説明がなされないままに「白毛」として血統登録されることとなった。諸外国においても同毛色のサラブレッド種が生産されていることから、わが国のサラブレッド種に出現した特異な毛色ではない。現在、その遺伝子はサビノ遺伝子 (Sabino-based white gene ; S) として命名され、優性白である W 遺伝子 (ホモ型が致死) とは異なること、また優性的に発現されると推測されているが⁸⁾、家系資料に基づいた明確な解析が行われていない。そこで、わが国に認められた白毛馬の家系資料を用いて遺伝学的解析を実施した。

II. 材料および方法

サビノ遺伝子 (S) の遺伝様式は、3 家系における 28 組

の交配データを用い、その交配の組み合わせ確率から解析した。その中で白毛馬が出現したのは 16 頭であった。この 16 組の交配資料を用いて、優性白遺伝子 (W) 説と S 遺伝子説を検証した²⁾。即ち、前者では W/W 型を致死、 W/w 型を白毛、 w/w 型を非白毛とし、また後者では S/S 型を白毛、 S/s 型、 s/s 型を非白毛と仮定して検証した。なお、諸外国における白馬の交配資料は 94 組であった (表 1)⁹⁾。サビノ毛色の例は重種馬を用いた (写真 1)。

わが国におけるサラブレッド種の S 遺伝子の頻度は 1979 年から 2005 年までに飼養されていたサラブレッド種の平均頭数 (22,759 頭) を母集団として扱い、カウント法で推測した。雌雄間の出現については χ^2 検定で検定した。

III. 結果および考察

1. 世界における白毛馬の出現状況

サラブレッド種を中心として、白毛の出現は世界で 2004 年までに 94 例報告されている (表 1)。この資料から、白毛は通常の基本毛色を持つ両親から誕生していること、白毛個体が親である場合は白毛が高い確率で生まれていること、またサビノ (Sabino-based solid color) 個体 (刺毛、大きな白徴をもつと推測される) を親に持つ例が多いことが分かる。したがって、白毛は突然変異による出現ではないことが推察できる。

今、白色系の毛色例を整理すると⁵⁾、 W 遺伝子である優性白はヘテロ型が白毛となり、ホモ型 (W/W) 個体は致死となる。また芦毛 (G) や粕毛 (R) は誕生時には全身が白色ではなく、明らかに W および S 遺伝子による白色被毛とは異なる⁸⁾。 S 遺伝子をヘテロ型にもつ個体は白毛ではないが、刺毛や顔や肢に大きな白徴を表現する (写真 1)。

* 東京農業大学生物産業学部生物生産学科

** (財)日本軽種馬登録協会

Table 1 Appearances of white thoroughbreds for 94 samples in the world

Nos.	Coat color of sire	Coat color of dam	Foal (white coat color)
1	Palestine (chest.)	Black Girl (black)	White Cross (♂)
2	Jovial (bay)	Fair Gertude (bay)	White f. or c. (♀)
3	John A Monroe (chest.)	?	Cubilete (♀) ※①
4	Pergoles (brown)	Lpnja (bay)	Woher (♀)
5	Nautical (brown)	Cubilete (white) ※①	Navado (♂)
6	brown	gray	Sneeuwvitje (♀) ※②
7	?	Sneeuwvitje (white) ※②	White filly (♀)
8	Tiverton's Pride (roan)	?	Rachel VI (♀)
9	Ky Colonel (chest.) ※1	Why Wander (chest.)	War Wander (♂)
10	Ky Colonel (chest.) ※1	Filly O' Mine (brown)	White Beauty (♀) ※③
11	Murghab (bay)	Tharsine (bay)	Mont Blace II (♂)
12	Grey Marwin (gray)	Milady Fair (bay) ※1	Glacial (♀) ※④
13	Ternaldis (bay)	Floride (bay)	Flaubert (♂)
14	Tudor Grey (gray)	White Beauty (white) ※③	White filly (♀), 1969
15	Mont Blanc II (white) ※2	Chispa III (bay) ※2	Montaspa (♀)
16	Mont Blanc II (white) ※2	Chispa III (bay) ※2	Le Tetrarque (♂)
17	Istanbul (brown)	Milady Fair (bay) ※1	Miasmio (♂)
18	Mont Blanc II (white) ※2	Kuraya (chest.)	Le panche Blanc (♂)
19	Mont Blanc II (white) ※2	Checkendon (brown) ※3	White Wonder (♂)
20	Khalif (chest.) ※3	Glacial (white) ※④	Khaleben (♂) ※①
21	Reverse (bay)	White Beauty (white) ※③	World O' Beauty (♀) ※⑤
22	Mont Blanc II (white) ※2	Chispa III (bay) ※2	Montispa (♀)
23	Mont Blanc II (white) ※2	Belle Squaw (chest.)	La Feuillade (♀)
24	Mont Blanc II (white) ※2	Perisca (gray)	Periblanco (♂)
25	Mont Blanc II (white) ※2	Checkendon (brown) ※3	Checkmont (♂)
26	Handsome Boy (brown)	Delthema (bay)	White filly (♀), 1974
27	Exotique (bay)	Atalica (bay)	Atalique (♂)
28	Sovereign Prince (gray)	Emanuela (gray)	Purcil (♂)
29	Spotted Line (gray)	White Beauty (white) ※③	Beauty 'N Motion (♀)
30	Mont Blanc II (white) ※2	Klairinthe (bay) ※4	Mont Clair (♂)
31	Mont Blanc II (white) ※2	Bolivienne (brown)	Bolblinc (♂)
32	Mont Blanc II (white) ※2	La Poignerie (chest.)	Blanche Fleur (♀)
33	Mont Blanc II (white) ※2	Pinworld (bay)	White Lass (♀) ※⑥
34	Khalif (chest.) ※3	Glacial (white) ※④	Glenmaggie (♀)
35	Thomasville (brown)	Brimstar (chest.)	Clarence Stewart (♂) ※②
36	Well Mannered (gray)	White Beauty (white) ※③	White filly (♀), 1977
37	Mont Blanc II (white) ※2	Klairinthe (bay) ※4	Monteclin (♀)
38	Mont Blanc II (white) ※2	Belle D' Angenais (chest.)	Norio D' Angenis (♂)
39	Long Ace (bay)	Homare Bull (chest.)	Haku Taiyu (♂) ※③
40	Jatullah (brown)	World O' Beauty (white) ※⑤	Precious Beauty (♀) ※⑨
41	Kaburaya O (bay)	Kunerai Oza (chest.)	Kamino White (♀) ※⑧
42	Prince Melchoir (bay) ※4	White Lass (white) ※⑥	White Peony (♂)
43	Triple strike (chest.)	Paakiri (chest.)	Between Showers (♂)
44	One For All (bay)	Erasure (bay)	Grand Espoir Blanc (♂)
45	Prince Melchoir (bay) ※4	White Lass (white) ※⑥	Casaque Blanche (♀) ※⑦
46	Triomphe (brown)	White Beauty (white) ※③	Late 'N White (♀)
47	Khaleben (white) ※①	Lots Of Speed (brown)	Colorful Gambler (♂) ※④
48	Clarence Stewart (white) ※②	Mishagos (brown)	White Flight (♂)
49	Nuoro (chest.)	Casaque Blanche (white) ※⑦	White Sam (♂)
50	Northjet (chest.)	Sad Song (brown)	Not Quite White (♀)
51	Puchilingui (sabino-bay) ※5	Candy Steppes (chest.)	Select Snow Squaw (♀)
52	Carolines Tern (gray)	?	Twist And Shout (♂)
53	Star Shower (chestnut)	Salomeno (brown)	The Bride (♀)
54	Brazen Bay (chest.)	Moncharm (chest.)	Our White Lady (♀) ※⑩
55	Puchilingui (sabino-bay) ※5	Artic Ella (chest.) ※5	Artic Squaw (♀) ※⑩
56	Puchilingui (sabino-bay) ※5	Copperanna (chest.)	Tosa Pahawea (♂)
57	Haku Taiyu (white) ※③	Kamino White (white) ※⑧	Misawa Botan (♂)
58	Puchilingui (sabino-bay) ※5	Artic Ella (chest.) ※5	Artic Color (♀)
59	Puchilingui (sabino-bay) ※5	Beauty By A Tai (bay)	Neon Native (♂)
60	Puchilingui (sabino-bay) ※5	Trick Maneuver (bay)	Tricked (♂)
61	Hatchet Man (gray)	Precious Beauty (white) ※⑨	Patchen Beauty (♀) ※⑪
62	Sunday Silence (brown)	Wave Wind (bay)	Shirayukihime (♀) ※⑬
63	Colorful Gambler (white) ※④	Like a Drop (brown)	Like A Gambler (♂)
64	Puchilingui (sabino-bay) ※5	Silent Shoe (bay)	Shew (♀)
65	Puchilingui (sabino-bay) ※5	Stellar Splash (chest.)	Punz (♀)
66	Puchilingui (sabino-bay) ※5	Madrama (chest.)	Padrama (♀)
67	Colorful Gambler (white) ※④	Kims Flight (chest.)	Spin The Coins (♂)
68	Roanoke (brown)	Artic Squaw (white) ※⑩	Bright White (♂)
69	Aswan (bay)	Mag Madonna (chest.)	White Pegasus (♂)
70	Piazzetta (chest.)	Joyella (bay)	Prince Of Snoweden (♂)
71	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Tropicana Anna (chest.) ※7	Arctic White (♂)
72	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Ms. Dubious (bay) ※6	Silver Mystique (♀)
73	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Alexanders Dream (bay)	Snow Baby Go (♀) ※⑭
74	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Shear Native (black)	Silver N Cin (♀)
75	Boones Mill (chest.)	Precious Beauty (white) ※⑨	white filly (♀), 2000
76	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Word Swapper (bay)	Silver Angel Eyes (♀)
77	Haku Taiyu (white) ※③	Roch Wind (chest.)	Hakutaiyo (♂)
78	Direct Hit (bay)	Petite Parfait (chest.)	Direct's Unique One (♂)
79	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Ms. Dubious (bay) ※6	Allamystique (♂)
80	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Tropicana Anna (chest.) ※7	Arctianna (♀)
81	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	The Ranch (chest.)	Silverella (♀)
82	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Regent's Lass (chest.)	Arctic Vice (♂)
83	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6		Silverlite (♀)
84	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Stylish Ruby (bay)	Rubiana Lace (♀)
85	I Conquer (bay)	Matilda (chest.)	white filly (♀), 2002
86	Pioneering (chest.)	Patchen Beauty (white) ※⑪	The White Fox (♂)
87	Billionair (cremello)	Our White Lady (white) ※⑫	Pure White Gold (♂)
88	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Storming Suzie (chest.)	Paint The Cat (♂)
89	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Majestic Time (chest.) ※8	white colt (♂), 2003
90	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Snow Boot Dancer (black)	white filly (♀), 2003
91	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Painted Cielo (bay)	white colt (♂), 2003
92	Airdrie Apache (sabino-chest.) ※6	Dotties Valentine (chest.)	white colt (♂), 2003
93	Black Hawk (bay)	Shirayukihime (white) ※⑬	white colt (♂), 2003
94	Robin Gin (?)	Snow Baby Go (white) ※⑭	white filly (♀), 2004

Chestnut showed as chest.

The same horse showed with marks of ※1~※6 respectively the same horse within a column, and ※①~※⑭.

Table 2 Verification on sabino-based white gene (*S*) by using from white thoroughbred data in Japan

Nos.	Sire and dam	White (foal)	Mating combination due to two hypothesis
※1	Brown 1 (♂) Chestnut 1 (♀; large white marking)	White 1 (♂)	$ww \times ww = Ww$ (inconsistent) $Ss \times Ss = SS$ (agreement)
※2	Brown 2 (♂) Chestnut 2 (♀)	White 2 (♀)	$ww \times ww = Ww$ (inconsistent) $Ss \times Ss = SS$ (agreement)
3	White 1 (♂) Chestnut 3 (♀; white hairs)	White 3 (♂)	$Ww \times ww = Ww$ (agreement) $SS \times Ss = SS$ (agreement)
4	White 1 (♂) White 2 (♀)	White 4 (♂)	$Ww \times Ww = Ww$ (agreement) $SS \times SS = SS$ (agreement)
5	White 1 (♂) Chestnut 3 (♀; white hairs)	White 5 (♂)	$Ww \times ww = Ww$ (agreement) $SS \times Ss = SS$ (agreement)
※6	Brown 3 (♂) Bay 4 (♀)	White 6 (♀)	$ww \times ww = Ww$ (inconsistent) $Ss \times Ss = SS$ (agreement)
7	White 1 (♂) Chestnut 3 (♀; white hairs)	White 7 (♀)	$Ww \times ww = Ww$ (agreement) $SS \times Ss = SS$ (agreement)
※8	Bay 4 (♂) Bay 5 (♀)	White 8 (♀)	$ww \times ww = Ww$ (inconsistent) $Ss \times Ss = SS$ (agreement)
※9	Bay 5 (♂) Chestnut 6 (♀)	White 9 (♂)	$ww \times ww = Ww$ (inconsistent) $Ss \times Ss = SS$ (agreement)
10	White 1 (♂) Chestnut 7 (♀)	White 10 (♂)	$Ww \times ww = Ww$ (agreement) $SS \times Ss = SS$ (agreement)
11	Bay 6 (♂) White 6 (♀)	White 11 (♂)	$ww \times Ww = Ww$ (agreement) $Ss \times SS = SS$ (agreement)
12	Gray 7 (♂) White 6 (♀)	White 12 (♂)	$ww \times Ww = Ww$ (agreement) $Ss \times SS = SS$ (agreement)
※13	Brown 8 (♂) Chestnut 8 (♀)	White-chestnut 13 (♀)	$ww \times ww = Ww$ (inconsistent) $Ss \times Ss = SS$ (agreement)
14	White 2 (♂) Chestnut 9 (♀)	White 14 (♂)	$Ww \times ww = Ww$ (agreement) $SS \times Ss = SS$ (agreement)
15	White 2 (♂) Chestnut 9 (♀)	White 15 (♀)	$Ww \times ww = Ww$ (agreement) $SS \times Ss = SS$ (agreement)
※16	Bay 9 (♂) Brown 10 (♀)	White 16 (♀)	$ww \times ww = Ww$ (inconsistent) $Ss \times Ss = SS$ (agreement)

From these analysis data, it was assumed that white thoroughbred was expressed by *S* gene (sabino-based white), and the white thoroughbred has *S/S* type. And then, with white dominant gene (*W*),

since the *W/W* type is lethal, the white horse must be expressed with *W/w* type.

Marks(※) show mating cases that *W* gene hypothesis was denied.

Table 3 Test on the inheritance mode of sabino-based white gene (S) by using white thoroughbred data in three families

Mating	Animal No.	White (S/S)	Solid color ($S/s, s/s$)	χ^2 Test
SS X SS	1	1	0	$\chi^2 = 0.374$ $P = 0.7 \sim 0.5$
SS X Ss	11	8	3	
Ss X Ss	7	7	0	
SS X ss	1	0	1	
Ss X ss	8	0	8	
Observed No. (O)	28	16	12	
Expected No. (C)	28	14.381	13.619	



Photo 1 Heterozygous type of sabino-based solid color (sabino-chestnut) expressed strongly in left draft horse foal.



Photo 2 White thoroughbred foal (No. 1)
Dam (sabino-chestnut) has heterozygous sabino-based white gene (S)



Photo 3 White thoroughbred foal (No. 2 ; white-chestnut)

白毛馬の両親が非白毛である場合には、この *S* 遺伝子をキャリアーしていることが推測される。

白毛馬の親の毛色は白毛が 42.55%、サビノが 27.66%、栗毛・鹿毛が 26.60%、芦毛・粕毛が 3.19% であった (表 1)。ここでのサビノには刺毛、額、顔や肢に大きな白徴が見られたと思われるが、1984 年以前のデータにはサビノの記載例は全く認められなかった。刺毛には良く精査しないと見落とすような微細な表現型があると思われることから、本来、サビノであっても刺毛を記載していない例も多いと推察される。

2. 白毛の発現遺伝子の推測

サビノ (*S*) と優性白 (*W*) 遺伝子の 2 説を想定して、何れが白毛の出現に関わっている遺伝子であるか確認した (表 2)。この交配資料はわが国における出現例であるが、*W* 遺伝子説に不適合な例は 16 例中 7 例認められた。一方、*S* 遺伝子説に矛盾する例は全く認められなかった。このことから、わが国において認められた白毛のウマ (写真 2 と 3) は *S* 遺伝子に関わっており、そのホモ型個体が白毛となるという仮説で χ^2 検定を実施した結果、理論値と観察値は一致し、*S* 遺伝子のホモ型が白毛個体になると推測された (表 3)。白毛には、誕生時から純白の個体 (写真 2) や白色に有色スポット (写真 3) が表現されたものなど白毛の発現にはバラツキが認められる。わが国におけるサラブレッドの白毛は 0.070% で、*S* 遺伝子の頻度は 0.108% で、 χ^2 検定の結果、雌雄間には出現差異が認められなかったのが常染色体性の遺伝様式であると推定された。

以上のことから、白毛馬を出現させる *S* 遺伝子はヘテロ型 (*S/s* 型) であれば基本毛色に刺毛や白徴を表現することが多い。しかし、その特徴を外貌から把握することが困

難な場合がある。このような個体は、粕毛と *KIT* 遺伝子のように¹⁰⁾、分子遺伝学的手法により DNA 塩基配列を検査して確認する必要がある。

参考文献

- 1) 横濱道成・野村 紘・安原隆史・野澤 謙, 2002, 北海道和種馬における粕毛のホモ遺伝子型は致死でない, 東京農業大学農学集報, 47 : 98-101.
- 2) PULOS, W.L. and HUTT, F.B., 1969, Lethal dominant white in horse, *The Journal of Heredity*, 60 : 59-63.
- 3) HINTZ, H.F. and Van VLECK, L.D., 1979, Lethal dominant roan in horses, *The Journal of heredity*, 70 : 145-146.
- 4) Trommershausen-SMITH, A., 1980, Coat color genetics, *Appalosa News* 4 : 12-18.
- 5) UEDA, J., 2000, Polymorphism of the *KIT* gene and roan coat color in Hokkaido native horse, Proceedings of the second joint symposium between Hokkaido University and Yeungnam University, August 4-5 : pp. 151-154.
- 6) 横濱道成・野澤 謙, 2004, 北海道和種馬における粕毛ホモ遺伝子型個体の致死説に関する追加分析, 東京農業大学農学集報, 49 : 147-149.
- 7) UEDA, J., 1999, Molecular approaches to coat color genetics of horses, Proceedings of the first joint symposium between Hokkaido University and Yeungnam University, August 20-21 : pp. 121-125.
- 8) Martinez-GONZALEZ, J.A., 2000, History and development of white thoroughbreds, <http://www.geocities.com/thoroughbredpr/history.htm>, pp. 1-36.
- 9) 5代血統表, <https://www.jbis.or.jp/jbis.cgi/0114ce0.cgi>
- 10) MARKLUND, S., MOLLER, M., SANDBERG, K. and ANDERSSON, L., 1999, Close association between sequence polymorphism in the *KIT* gene and the roan coat color in horses, *Mammalian Genome* 10 : 283-288.

On inheritance of white thoroughbred in Japan

By

Michinari YOKOHAMA* and Ikuo ISHIDA**

(Received August 3, 2006/Accepted March 15, 2007)

Summary : To evidence inheritance mode of white thoroughbreds produced in Japan, two hypothesis concerning white dominance gene (W) and sabino-based white gene (S) were tested for the probability of mating combination using three sets of family data. It was confirmed that white thoroughbreds are expressed in homozygous S/S type with incomplete dominant gene S . The S/s type horse must have sabino-based solid color in which white hairs and large white markings are expressed with large dispersion.

Key words : Thoroughbred, White color, Sabino-based white gene, Incomplete dominant inheritance

* Department of Bioproduction, Faculty of Bio-Industry, Tokyo University of Agriculture

** Japan Race Horse Registry