Gene Constitution of Miniature “Shiba” Goats

Ken NOZAWA¹⁾, Yasuhiko KANO²⁾, Toru SAWASAKI²⁾, Takao NISHIDA³⁾,
Tsuneo ABE⁴⁾, Takayoshi SHOTAKE¹⁾ and Yoichi MATSUDA⁵⁾

(Received for publication : May 31, 1978)

Genetic surveys were carried out on the miniature “Shiba” goats which have been raised in Nagasaki Prefecture, Japan. Recently, in the prefecture the number of “Shiba” goats has been markedly decreased to totally about 190 which are kept now only in two towns. Morphological genetic traits were observed to have been coming homogenous in Nagasaki Prefecture, and homogeneity of the traits in the colonies kept in National Institute of Animal Industry and in Stock Farm of University of Tokyo, especially in the latter, was remarkably high. The “Shiba” goats have white coat color, horns and supernumerary teats, but not wattles. Electrophoretic examinations of genetic variations at 27 blood protein loci revealed that variability in the “Shiba” goat populations were lower than that of the Japanese Saanen breed, and that the amount of gene flow from the Saanen breed into the “Shiba” goats was estimated to be smaller than into the present-day Okinawa meat goats. The genetic variability of the colony in Stock Farm of University of Tokyo was observed to be conspicuously low. From the results of pedigree analysis such a decay of genetic variability was postulated to come about from unavoidable inbreeding resulted from smallness both in numbers of foundation animals and in effective population size of the colony.

小型ヤギいわゆるシバヤギの遺伝子構成

野澤 謙¹⁾・加納康彦²⁾・沢崎 徹²⁾・西田隆雄³⁾

阿部恒夫⁴⁾・庄武孝義¹⁾・松田洋一⁵⁾

京都大学霊長類研究所¹⁾, 東京大学農学部附属牧場²⁾, 東京大学農学部家畜解剖学教室³⁾,
農林省畜産試験場⁴⁾, 名古屋大学農学部家畜育种学教室⁵⁾

¹⁾Primate Research Institute, Kyoto University, Inuyama, Aichi 484, Japan; ²⁾Stock Farm, Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Iwama, Ibaraki 319-02, Japan; ³⁾Department of Veterinary Anatomy, Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Tokyo 113, Japan; ⁴⁾National Institute of Animal Industry, Chiba 280, Japan; ⁵⁾Department of Animal Genetics, Faculty of Agriculture, Nagoya University, Nagoya 464, Japan;

長崎県西部海岸地域と五島列島に古来飼養されている肉用在来ヤギはシバヤギの名で呼ばれているが、このヤギは沖縄、奄美群島の肉用山羊とおそらくは来歴を異にする小型ヤギである。近来、実験動物としての有用性が注目され、特に東京大学農学部附属牧場は1968年以来、シバヤギのコロニーを保持し種々の実験に使用すると共に、余剰を他の試験研究機関へ供給している。またこのヤギの生物学的特性についてすでに報告がなされている[13]。

筆者の1人は1962年にシバヤギの現地調査をおこな

Table 1. List of blood proteins examined

Abbreviation	Name of blood protein	Reference
Hb- α	Hemoglobin- α } Hemoglobin- β }	[5]
Hb- β		
Alb	Plasma albumin	[27]
Tf	Plasma transferrin	[27]
Hp	Plasma haptoglobin	[11]
α_2	Plasma slow- α_2 -macroglobulin	[27]
Es	Plasma non-specific esterase	[7]
Cp	Plasma ceruloplasmin	[10]
LAP	Plasma leucin aminopeptidase	[22]
PA-1	Plasma prealbumin-1	[21]
PA-2	Plasma prealbumin-2	[21]
PA-3	Plasma prealbumin-3	[7]
Alp	Plasma alkaline phosphatase	[26]
Amy	Plasma amylase	[1]
EsD	Cell esterase D	[9]
6 PGD	Cell 6-phosphogluconate dehydrogenase	[12]
PHI	Cell phosphohexose isomerase	[6]
MDH	Cell malate dehydrogenase	[25]
Dia	Cell NADH-diaphorase	[12]
Acp	Cell acid phosphatase	[14]
To	Cell tetrazolium oxidase	[3]
LDH-A	Cell lactate dehydrogenase-A	[24]
LDH-B	Cell lactate dehydrogenase-B	[24]
CEs-1	Cell esterase-1	[23]
CEs-2	Cell esterase-2	[23]
Ak	Cell adenylate kinase	[4]
Cat	Cell catalase	[15], [23]

い、体尺測定、形態学的遺伝形質の頻度調査、血液型判定などをおこない、その結果を公表した[18]。この調査は元来、東亜各地の在来山羊の遺伝子構成を明らかにし、その来歴や系統を探ろうとの意図のもとにおこなっている研究の一環としてなされたものであるが、上記の趨勢にかんがみ、1976～1977年に長崎県下現地と、農林省畜産試験場および東大牧場のコロニーについて再度シバヤギの調査をおこなった。本論文はその結果を発表しようとするものである。調査は次の項目について実施された。(1)長崎県下での飼養状態、特に1962年調査時点との比較、(2)形態学的遺伝形質の頻度とそれの集団としての均質度、(3)血液蛋白を支配する遺伝的変異の現状、およびこれを標識とする雑種化の現状の推定、および(4)東京大学附属牧場コロニーの血統分析による集団近交度の推定。

材料と方法

長崎県下での現地調査は1977年10月におこなわれた。

長崎県庁畜産課にあらかじめシバヤギの現況について照会し、同課より寄せられた回答にもとづき、飼養が続いている新魚目町（五島列島最北部）と外海町（長崎市北方）に入り、両町役所係官より現状の聴き取りをおこなうと共に、係官先導のもとに飼養農家を順回訪問して聴き取り調査、ヤギの観察記載、採血などを実施した。

形態学的遺伝形質の個体別記録は長崎県下両町飼養ヤギ、農林省畜産試験場コロニー、および東京大学農学部付属牧場コロニーの3区についておこなわれた。調査対象となった4形質対とそれぞれの遺伝様式は以下の通りである。(i) 毛色：有色と白色。後者がほぼ完全な優性形質、遺伝子記号では有色が ii, 白色は I₋ であらわされる。(ii) 角：有と無。前者が完全劣性形質、よって、有角が pp, 無角が P₋ であらわされる。(iii) 肉髯：有と無。前者が完全優性形質、よって肉髯ありは W₋, なしは ww であらわされる。以上3形質対の遺伝様式は Lush [16], Asdell and Smith [2] による。(iv) 副乳頭：有と無。左右いずれか一方の乳頭にのみ副乳頭が

見られるものも副乳頭ありと数える。おそらく多因子形質と推測される。

これら形態学的遺伝形質に関する集団としての均質度を定量化するため、表現型均質指数 (phenotypic homogeneity index : H. I.) を次式で定義する。

$$H. I. = 2 \left[\frac{\sum \{Q^2 + (1-Q)^2\}}{n} - \frac{1}{2} \right]$$

ここで、 Q は形質対の一方の出現頻度、したがって $(1-Q)$ は他方の出現頻度、 n は形質対の数でこの場合は $n=4$ 、 $\sum$ は n 個の形質対すべてにわたる和を示す。この指数はどの形質対もすべて有無半々という場合、換言すれば形質の多様性が最大のとき最小値 0 をとり、逆にどの形質対も有無いずれか一方のみ、換言すれば形質の均質度が最も大きいとき最大値 1 をとる。

採血は長崎県下現地において 61 頭 (外海町 40 頭、新魚目町 21 頭)、畜産試験場コロニーより 44 頭、東大牧場コロニーより 59 頭からなされた。東大コロニーからの試料は当時飼育中の全個体より得られた。これら血液試料は血漿と血球とに分離、冷凍保存され、蛋白変異の検索に用いられた。変異の検索は酵素および非酵素蛋白計 25 種の構造を支配する計 27 遺伝子座について、澱粉ゲル電気泳動法によってなされた。検索された血液蛋白のリストと泳動方法および変異の遺伝様式が記載されている文献を Table 1 に示す。各個体について、遺伝子座ごとに遺伝子型が判定されるから、各集団の遺伝子構成は遺伝子頻度の形で表現することができる。

集団の遺伝的変異性は多型遺伝子座の割合 (p_{poly})、個体当たり座位当たり平均ヘテロ接合の割合 ($\bar{H}$)、および座位当たり対立遺伝子の有効数 (n_e) によって示される。ここで、或る遺伝子座において、最高頻度をもつ遺伝子の頻度が 0.99 を越えないとき、その座位は多型的であると定義する。また $\bar{H}$ と n_e は次式で計算される。

$$\bar{H} = 1 - \sum_i q_i^2,$$

$$n_e = 1 / \sum_i q_i^2.$$

ここで、 q_i はある遺伝子座の第 i 対立遺伝子の頻度をあらわし、平均は変異のない遺伝子座も含めた全遺伝子座にわたる算術平均をあらわす。

なお、シバヤギの電気泳動的遺伝変異の検索結果と、遺伝的変異性の定量結果を比較対照し、また雑種化の程度の推定にもちいるため、過去に在来のシバヤギ集団に交雑された可能性のある日本ザーネン種乳用山羊についての同様の分析データを使用した [20]。

東京大学農学部附属牧場シバヤギコロニーの血統分析は、同牧場にこのヤギが導入されて以来、保存されている全個体についての血統記録を用い、Wright and McPhee の標本調査法 [28] によっておこなわれた。全個体計 59 個体のおのおのについて、父系、母系各 1 ラインを任意抽出し、同牧場に導入された基礎畜までカードに記録する。抽出された各個体の生年月をも記入してお

Fig. 1. Map of "Shiba" goat raising area and change of number of goats raised there from 1962 to 1977. In parenthesis : (1962 - 1977).

Table 2. Occurrence of morphological genetic traits and the phenotypic homogeneity index (H. I.) in the "Shiba" goat populations

Year	Area	No. of inds. examined	Coat color		Horns		wattles		Supernume- rary teats		H. I.
			+	-	+	-	+	-	+	-	
			ii	I_	pp	P_	W_	ww			
1962	Fukue C.	23	5	18	21	2	11	12	2	16	0.4022
	Naru Is.	25	1	24	10	15	13	12	2	16	0.3732
	Katsura Is. (Naru T.)	58	1	57	29	27	55	3	10	35	0.5114
	Arifuku Is. (Wakamatsu T.)	23	3	20	17	4	21	2	7	10	0.4107
	Wakamatsu Is.	23	0	23	17	5	17	6	3	15	0.4926
	Narao T.	47	2	45	15	29	20	27	21	12	0.2587
	Kami-goto T.	85	8	77	65	13	58	27	20	38	0.3330
	Shin-uonome T.	75	5	70	26	43	66	9	20	34	0.3642
	Sotome T.	67	1	66	65	2	45	22	32	19	0.5019
	Ozasa T.	46	2	44	35	11	41	5	7	27	0.5161
1977	Shin-uonome T.	39	0	39	30	7	39	0	23	16	0.6046
	Sotome T.	53	0	53	47	6	51	2	36	17	0.6452
	National Institute of Animal Industry	44	4	44	44	0	37	7	19	25	0.5445
	Stock Farm of University of Tokyo	59	0	59	29	0	29	0	24	5	0.8572

く。以後、分析はこのカードを使っておこなうことができる。なお、この方法の詳細は野澤 [17] の総説に解説されている。

成 績

(1) 長崎県下でのシバヤギの飼養状態

長崎県下でシバヤギは「キリシタン部落」と俗称される宗教的隔離集団に肉用、および糞を堆肥用として畑作に利用する目的で古くから飼われてきた。しかし住民の宗教的隔離は破られつつあるし、道路交通事情が改善されて食肉の購入は容易となり、さらに住民の離農傾向が強まると共にいわゆる糞畜としての意義も失われ、近來シバヤギ飼養頭数は著しい減少を見せている。Fig.1は前回調査時の1962年から今回の1977年までにおける市町別のシバヤギ飼養頭数の推移を示している。15年前、頭数の多かった五島列島で現在なおシバヤギが飼養されているのは同列島北端の新魚目町のみであり、長崎県本土西海岸では長崎市の北に位置する外海町のみである。長崎県庁の集計によれば、前者が40頭、後者が150頭、合計190頭が長崎県原産地におけるシバヤギの総頭数ということになる。シバヤギ飼養者は15年前と変わらず、海を

望む丘陵地の急斜面に居住する、宗教的に多少とも隔離された農民である。飼養頭数のこのような激減傾向を見ると、シバヤギの原産地集団が今後永く存続する公算は低いと考えざるを得ない。

(2) 形態学的遺伝形質

シバヤギ集団における形態学的遺伝形質の分布をTable 2に示す。1962年調査時との比較のため、そのデータをも野澤 [18] より式用して掲げておく。シバヤギは有角で肉髯なく副乳頭をもつものが多いという東および東南アジア在来肉用山羊と共通の特徴をもっているが、わが国南西諸島から台湾、東南アジア各地の在来山羊と異なる特徴は毛色が白色のものが圧倒的に多いという点である。

Table 2の表現型均質指数(H. I.)を見ると、1962年から1977年にかけて、新魚目町と外海町の両町とも形態学的遺伝形質の分布が均質化に向っていることが明らかに看取される。また、1977年の畜産試験場、東大牧場コロニーの双方とも、遺伝形質の均質性は高い。長崎県下現地での形質の均質化は、集団サイズが小さいため、頻度の高い対立遺伝子が機会的に固定する傾向をもつためであろう。畜産試験場と東大牧場の両コロニーにおいては、このような機会的固定に加えて、意識的な選抜の

Table 3. Result of electrophoresis examinations. Genotypic frequencies, gene frequencies and heterozygosities

Population	No. of inds.	NP	IAI	NP + IAI	TU	J. Saanen
		61	44	105	59	60
Hb- β	1-1	60	42	102	58	85
	1-2					4
	2-2					1
	1-3	1	2	3	1	
	1	0.9919	0.9773	0.9858	0.9916	0.9667
	2	0.	0.	0.	0.	0.0333
	3	0.0081	0.0227	0.0142	0.0084	0.
	H	0.0161	0.0444	0.0280	0.0167	0.0647
Tf	A A	61	44	105	57	90
	A B				2	
	A	1.	1.	1.	0.9831	1.
	B	0.	0.	0.	0.0169	0.
	H	0.	0.	0.	0.0333	0.
LAP	A A	61	43	104	59	47
	A B		1	1		28
	B B					15
	A	1.	0.9887	0.9953	1.	0.6778
	B	0.	0.0113	0.0047	0.	0.3222
	H	0.	0.0224	0.0094	0.	0.4368
	H	0.	0.0224	0.0094	0.	0.4368
Alp	O O	59	40	99	59	51
	F -	2	4	6		39
	O	0.9834	0.9534	0.9710	1.	0.7527
	F	0.0166	0.0466	0.0290	0.	0.2473
	H	0.0327	0.0889	0.0564	0.	0.3723
	H	0.0327	0.0889	0.0564	0.	0.3723
PA-3	1-1	32	32	64	59	31
	1-2	26	9	35		45
	2-2	3	3	6		14
	1	0.7378	0.8295	0.7761	1.	0.5944
	2	0.2622	0.1705	0.2239	0.	0.4056
	H	0.3870	0.2829	0.3476	0.	0.4822
	H	0.3870	0.2829	0.3476	0.	0.4822
Amy	1-1	61	44	105	59	89
	1-2					1
	1	1.	1.	1.	1.	0.9945
	2	0.	0.	0.	0.	0.0055
	H	0.	0.	0.	0.	0.0110
	H	0.	0.	0.	0.	0.0110
Es-D	1-1	61	42	103	59	89
	1-2		2	2		1
	1	1.	0.9773	0.9905	1.	0.9945
	2	0.	0.0227	0.0095	0.	0.0055
	H	0.	0.0444	0.0189	0.	0.0110
	H	0.	0.0444	0.0189	0.	0.0110

効果も作用している。

(3) 血液蛋白変異

血液蛋白27遺伝子座の変異を電気泳動法によって検索

したところ、日本ザーネン種を含めて変異が見出されたのは Hb- β , Tf, LAP, Alp, PA-3, Amy および Es-D の7座位であり、他の20座位には変異は見られなかつ

Table 4. Genetic Variability (27 genetic loci)

Population	No. of polym. loci	$P_{poly} \pm S. E.$	$\bar{H}$	n_e
NP	2	0.0740 ± 0.0503	0.0161	1.0163
IAI	5	0.1851 ± 0.0747	0.0178	1.0181
NP + IAI	3	0.1111 ± 0.0604	0.0170	1.0172
TU	1	0.0370 ± 0.0363	0.0018	1.0018
J. Saanen	4	0.1481 ± 0.0683	0.0510	1.0537

Fig. 2. Electrophoretic patterns and their postulated genotypes of blood protein variations appeared in the “Shiba” goats and the Japanese Saanen breed.

た。変異の見出された7座位の電気泳動像とそれらの推定遺伝子型を Fig. 2 に示す。また各変異座位における遺伝子型出現度数、遺伝子頻度および各座位のテロ接合確率 ($\bar{H}$) を Table 3 に表示する。Hb- β 座位においてシバヤギと日本ザーネン種は最高頻度対立遺伝子は共通であるが変異型遺伝子は異っており、また LAP, Alp および PA-3 の3座位において両品種間に遺伝子頻度の有意差が見られる。なお、すべての座位において、長崎県原産地 (NP) と 畜産試験場コロニー (IAI) との

間に遺伝子頻度の有意差は見られなかったもので、Table 3 にはこれら両集団をプールして計算した数値をも NP + IAI として示してある。東大牧場コロニー (TU) は他の2集団とは遺伝子構成をやや異にし、固定している座位の多いことが注目される。

シバヤギ3集団の遺伝的変異性を日本ザーネン種のそれと比較して Table 4 に示す。シバヤギの多型遺伝子座の割合 (p_{poly}) は日本ザーネン種と比較して差があるようには見えないが、遺伝的変異性の指標として最も精度の高い平均ヘテロ接合の割合 ($\bar{H}$) で見ると差はより明瞭である。これは多型座位においてシバヤギの変異遺伝子頻度が日本ザーネン種のそれよりも著しく低いためである。シバヤギの遺伝的変異性は日本ザーネン種に比して低いと言えよう。また、長崎県下の原産地集団と畜産試験場コロニーとの間に遺伝的変異性の各指標値に有意差が見られないので、この表にも両者をプールして計算した値を示しておいた。東大牧場コロニーの遺伝的変異性は他の2集団に比し明らかに低い。

東大牧場コロニーの著しい低変異性は、このコロニーの基礎畜の数が少ないこと、集団サイズが小さいこと、あるいは近親交配などが原因であると推測され、この点の分析は後に行なうこととし、現在のシバヤギ集団の遺伝子構成を代表する数値としては、長崎県原産地集団と畜産試験場コロニーとをプールした値を採るのが最善と考えられる。

シバヤギは原産地において、日本ザーネン種により多少とも雑種化していると言われる [18]。この雑種化の程度を推定したい。現在のシバヤギ集団における或る遺伝子座の最高頻度遺伝子の頻度を q_0 日本ザーネン種におけるそれを q_s 、雑種化される前のシバヤギ集団におけるそれを q_N としよう。現在のシバヤギ集団の遺伝子プールの中で日本ザーネン種から流入した部分の割合 (amount of gene-flow) すなわち移入率を M とする

Table 5. Estimation of Gene Constitution in Original “Shiba” Goats

Commonest allele at variable locus	q_s	q_o	q_N
Hb- β^1	0.9667	0.9858	0.9858
LAP ^A	0.6778	0.9953	0.9953
Alp ^o	0.7527	0.9710	0.9710
PA-3 ¹	0.5944	0.7761	0.7761
Amy ¹	0.9945	1.	1.
Es-D ¹	0.9945	0.9905	0.9905

$M = 0$

q_o : Commonest allele frequency in “Shiba” goats at present
 q_s : Commonest allele frequency in Japanese Saanen
 q_N : Commonest allele frequency in the purely native “Shiba” goats
 M : Amount of gene-flow from Saanen to “Shiba” goats

と、少しでも変異の見られた遺伝子座のおのおのについて、

$q_o = Mq_s + (1 - M) q_N$

なる等式が成立すると考える [8]。 q_o と q_s は既知数、 q_N と M とは未知数であり、 q_o 、 q_s および q_N は座位ごとに異なる値をとるが、 M の値は一定と考えよう。変異遺伝子座の数を ℓ とすると、未知数 $\ell + 1$ 個に対して上記等式の数は ℓ 個である。言うまでもなくこの連立方程式を一義的に解くことはできない。しかし、 q_N と M がとり得る値の範囲には

$0 \leq q_N \leq 1$

$0 \leq M \leq 1$

なる制限が課せられている。それ故、 ℓ 個の q_N の値と M の値のすべてについて、上記の制限条件を満足するような値の範囲を求めることができれば、これによって

日本ザーネン種からの移入率 (M) と、雑種化以前のシバヤギの遺伝子頻度 (ℓ 個の q_N) とをそれぞれ範囲として推定することができると考えられる。現在のシバヤギ集団の遺伝子構成として長崎県原産地と畜産試験場コロニーとをプールしたもの ($NP + IAI$) を探るとすれば各変異座位の最高頻度をもつ対立遺伝子の頻度 (q_o) と日本ザーネン種におけるそれ (q_s) とは Table 3 に示された通りである。ここで、 Tf 座位には変異がないこととなるから、 $\ell = 6$ であり、各座位の q_N と M とを上の方法で推定した結果を Table 5 に示す。この場合、 q_N も M も範囲としては推定されず、 $q_N = q_o$ 、従って $M = 0$ としない限り上記の制限条件を破ることになる。この結果をそのまま受け入れるならば、現在のシバヤギは日本ザーネン種からの遺伝子流入を受けておらず、純粋の在来ヤギであると判断しなければならない。

(4) 東大牧場コロニーの血統分析

東大牧場コロニーに調査時飼養されていた59個体の系図を調べると、すべての血統ラインは日本農産工業株式会社または農林省畜産試験場で出生した以下の各個体から出ていることが明らかとなった。すなわち、これらは東大牧場シバヤギコロニーの基礎畜である。

□ A ♂ (日本農産)
 — 46 ♀ (F-3) (日本農産より妊娠中導入)

□ B ♂ (日本農産)
 — F-2 ♀ (日本農産より妊娠中導入)

 34 ♀ (F-1) (畜産試験場より育成中導入)

これらの導入は1968～1969年におこなわれた。

1976～1977年の東大牧場コロニー在籍59個体から、上記5個体の基礎畜までのきか上り世代数 ($\bar{m}$) の平均 ($\bar{m} \pm S. E.$) は

$\bar{m} = 4.22 \pm 0.99$ 世代

となった。

任意抽出された血統ラインに現われる各個体の出産年月から、この期間の1世代の長さ (generation inter-

Table 6. Generation interval of “Shiba” goat colony of the Farm of Faculty of Agriculture, University of Tokyo

Parent	—	offspring	Interval $\pm$ S. E. (years)
Sire	—	son	1.82 $\pm$ 0.08
Sire	—	daughter	1.81 $\pm$ 0.04
Dam	—	son	2.25 $\pm$ 0.14
Dam	—	daughter	2.38 $\pm$ 0.14
Average (generation interval)			2.06

Table 7. Coefficients of inbreeding and relationship in the population of "Shiba" goat colony of the Farm of Faculty of Agriculture, University of Tokyo

Actual inbreeding coefficient (F)	0.3135 ± 0.0314
Inter-se relationship coefficient (R)	0.6220 ± 0.0153
Inbreeding coefficient expected from R (F')	0.4513
Index of subdivision of population (F/F')	0.6946
Current inbreeding (F'')	0.0974 ± 0.0158
Average effective population size (N̄)	4.67

val) は Table 6 のように計算された。父—子の世代間隔が母—子のそれより平均0.5年短いことがわかる。1世代に要する長さは平均2.06年となる。調査は基礎畜導入後7～9年の時点でなされている。ここで推定した平均世代間隔に基礎畜までのさか上り世代数の平均を乗じた数値は8.69年となって、上記の範囲に含まれ、計算の正しさが保証される。

集団の近交度に関する調査結果は Table 7 に示されている。同一個体カードの父系と母系に同一個体が現れる率の1/2で集団の全近交係数 (actual inbreeding coefficient: F) が推定され、F = 0.3135 である。これは約1.5世代全兄妹交配を繰り返したときの近交度に等しい。異った個体カードの父系又は母系ラインに同一個体が現われる割合が集団内平均血縁係数 (inter-se relationship coefficient: R) であり、R = 0.6220 と推定された。集団内平均血縁から期待される近交係数 (F') は $F' = R/(2-R)$ で求められ、この値は 0.4513 と計算される。もし血縁を顧慮せず、集団内で無選択交配がおこなわれていたら、0.4513だけの近交係数となるべきであるのに、実際は F = 0.3135 にとどまるということは、交配が比較的遠縁の雌雄間でなされていることを示し、事実、分化係数 (index of subdivision: F/F') は $0.6946 < 1$ となり、もちろん集団内に系統分化はあらわれていない。親子交配、兄妹交配などごく近縁個体間の交配 (current inbreeding) による近交係数への寄与量は祖父母までの完全血統をもちい、 $F'' = 0.0974$ と推定され、これは全近交係数の31%に相当する。東大牧場コロニーでの過去4.22世代間の世代当り集団の有効サイズの平均値 (N̄) は、

$$\bar{N} = \frac{1}{2\Delta F'} = \frac{\bar{m}(2-R)}{2R}$$

で推定される。ここで $\Delta F'$ はこの間の集団内平均血縁から期待される近交係数 (F') の増分である。この式の最右辺にすでに得られた $\bar{m}$ と R の値を代入すれば $\bar{N} =$

4.67が得られる。すなわち、現在の東大牧場コロニーを構成している個体間の平均血縁度の増大は、基礎畜導入以来、毎代4.67個体を保持してその中で無選択交配をおこなって来た場合と等価である。

東大牧場のシバヤギコロニーは基礎畜導入以来4世代余りを経過し、かなり強度の近交個体群となっていることが以上の血統分析の結果からわかる。これは意識的な近親交配をおこなったためと言うよりも、第1に基礎畜の数が少なかったこと。第2に集団サイズが小さかったことに基因すると言えよう。形態学的遺伝形質の均質度高いこと、および電気泳動的遺伝変異が著しく低いことも、この2つの要因の必然的結果と考えられる。

考 察

1962年調査時に1241頭と数えられた長崎県下のシバヤギ飼養頭数は15年後の1977年には僅か190頭に減少している。現地住民の経済生活が変容し、ヤギ飼養が意義を失ないつつあることを示している。シバヤギ飼養農家は曾って是一種の宗教的隔離集団で、各宗派の仏教徒とも、長崎県下には数の多いカトリック教徒とも生活慣習や儀礼を異にし、婚姻関係においても隔離されていた。こうした状況はいまなお残ってはいるが、日本社会全体の近代化と平行して隔離も次第に破られつつある。ヤギ飼養の衰退も、飼養民の社会が外に対して開放され、しかも外の社会では全国的に離農傾向が強まってゆく経過の中で起っている現象であり、この趨勢を押し止めることは困難であろう。それ故、家畜系統史研究の対象としても、また実験動物育種の一素材としても、長崎県原産地のシバヤギに今後、多くの期待はかけられないと考えざるを得ない。

形態学的遺伝形質の分布に見られる均質化傾向も、原産地のシバヤギ集団のサイズが次第に縮小してゆくことの結果として起ったと見るべきである。また畜産試験場

と東大牧場のコロニー維持に当っては、在来ヤギの外貌の特徴を具備する個体が残されるような選抜がおこなわれてきている [13]。両コロニーの表現型均質度高い値を示すのはこのような人為選抜も一因となっている。

血液蛋白の構造を支配する遺伝子を標識とすれば、1977年の長崎県原産地と畜産試験場とをプールした集団の遺伝子構成は、日本ザーネン種からの遺伝子流入を受けていない純粋在来ヤギであるという結果になった。しかし、この方法は、遺伝的浮動のような確率論的過程を全く考慮しておらず、すべてが遺伝子流入 (gene-flow) という決定論のみで動くという仮定の上に立っている点に大きな難点があるし、また、純粋在来種の遺伝子頻度 (q_N) のすべてと移入率 (M) とを $[0.1]$ 区間に押し込めようとするために、各 q_N を q_0 に近く、徒って M を 0 に近く推定してしまうという重大な欠点がある。すなわち、この方法は移入率 (M) を過小評価する傾向を本質的にもっていると言わなければならない。現在のシバヤギ集団が完全に純粋な在来ヤギ集団でないことは Table 2 に示す通り、シバヤギ集団中にザーネン種から流入したと考えられる無角個体や肉髯をもつ個体が少数ながら現われていることからわかる。試みに、Table 2 から現在のシバヤギ (NP + IAI) 集団中での角と肉髯を支配する遺伝子の頻度を求め、日本ザーネン種における遺伝子頻度は Nozawa [19] を引用して 1947～1963年の調査データより計算し、さらに純粋在来ヤギ集団には無角遺伝子、肉髯遺伝子は共に存在しなかったと仮定してザーネン種からの移入率 (M) を推定してみると、角を支配する対立遺伝子 ($P \sim p$) については $M = 0.1141$ 、肉髯を支配する対立遺伝子 ($W \sim w$) については $M = 0.2896$ となり、決して $M = 0$ とはならない。

同じ27遺伝子座の血液蛋白変異を標識とし、本報と全く同じ方法を沖縄肉用ヤギに適用して日本ザーネン種からの移入率を推定したところ、 $0 < M < 0.1264$ となった [20]。この値もまたおそらく過小評価であろう。しかし、この結果から長崎県原産のシバヤギが、現在の沖縄肉用ヤギに比べればザーネン種による雑種化の程度が低い、言い換えれば東亜在来ヤギとして、より純度が高いという推測だけではできるのではなかろうか。

東大牧場のシバヤギコロニーの著しい低変異性は同牧場へ導入された基礎畜の数が少なかったことと、毎代の集団サイズが小さかったことに起因し、意識的近交はむしろ避けられていたにも拘わらず、かなり高い近交度に達してしまったためであることが判明した。Table 2 に見られる通り、形態学的遺伝形質においては副乳頭の

有無において変異があるだけであり、Table 3 に見られる通り、電気泳動的遺伝変異は Hb- β 座位と Tf 座位にごく僅か残っているに過ぎない。おそらくこれら残存遺伝変異は放っておいても機会的に消失する確率は高いであろうし、意図的な淘汰をおこなえば、容易に完全ホモの系統を作出することができよう。つまり、東大牧場コロニーは現在すでに遺伝的均質度的にかなり高い小型ヤギの系統と言うことができ、遺伝的均質性が要求される実験動物として価値あるものと考えられる。

この場合、問題は今後このコロニーが近交退化をおこす可能性はないかという点であろう。基礎畜導入以来、これまでの4世代余りの間にはそのような兆候はなんら見られていない。しかし、このことは今後近交退化をおこさないという保証にはならないであろう。近交退化現象の有無、程度を予測する実験を東大牧場において目下計画中である。

要 約

長崎県下に原産地をもつ小型ヤギ、いわゆるシバヤギの遺伝学的調査がおこなわれ、以下の知見を得た。

1. 長崎県下では飼養個体数が近來激減し、現在シバヤギの飼養が見られるのは新魚目町と外海町の2町、飼養頭数計190頭にすぎない。
2. 形態学的遺伝形質は原産地においては均質化に向かいつつあり、また農林省畜産試験場コロニーと東大農学部附属牧場コロニー、特に後者は高い均質度を示す。シバヤギは一般に白色で有角、肉髯を欠き副乳頭をもつ。
3. 血液蛋白27座位の遺伝的変異を電気泳動法により検索すると、変異性は日本ザーネン種を下廻り、特に東大牧場コロニーにおける変異性は著しく低い。シバヤギの在来ヤギとしての純度は沖縄肉用ヤギよりも高いと考えられる。
4. 東大牧場コロニーの低変異性の原因を血統分析によって調べたところ、意識的近交は避けられる傾向があるにも拘わらず、基礎畜の数が少なかったこと、集団サイズの小さかったことが主因となって近交度の上昇をきたし、その結果、集団の遺伝子構成が均質化したと推測される。

本研究中の長崎県下の現地調査は長崎県庁農林部畜産課、同県新魚目町役所、および外海町役所の畜産関係公務員各位の援助によって円滑におこなうことができた。またシバヤギを現に飼養している農家各位の理解と協力も忘れられない。これらの方々に厚くお礼を申し上げる。

文 献

- [1] Abe, T., and Oishi, T. (1974) : Serum amylase isozymes in Japanese cattle breeds. *Anim. Blood-grps. Res. Inf.*, 3, 17-20.
- [2] Asdell, S. A., and Smith, A. D. B. (1928) : Inheritance of color, beard, tassels and horns in the goats. *J. Hered.*, 19, 425-431.
- [3] Baur, E. W., and Schorr, R. T. (1969) : Genetic polymorphism of tetrazolium oxidase in dogs. *Science*, 166, 1524-1525.
- [4] Bowman, J. E., and Ronaghy, G. (1967) : Hemoglobin, glucose-6-phosphate dehydrogenase, phosphogluconate dehydrogenase and adenylate kinase polymorphism in Moslems in Iran. *Amer. J. Phys. Anthropol.*, 27, 119-123.
- [5] Chernoff, A. Z., and Pettiti, N. M. (1964) : The amino acid composition of hemoglobin. III. A quantitative method for identifying abnormalities of hemoglobin. *Blood*, 24, 750-756.
- [6] Detter, J. C., Ways, P. O., Giblett, E. R., Baughan, M. A., Hopkinson, D. A., Rovey, S., and Harris, H. (1968) : Inherited variations in human phosphohexose isomerase. *Ann. Hum. Genet.*, 31, 329-338.
- [7] Gahne, B. (1966) : Studies on inheritance of electrophoretic forms of transferrins, albumins, prealbumins and plasma esterases of horses, *Genetics*, 53, 681-694.
- [8] Glass, B., and Li, C. C. (1953) : The dynamics of racial intermixture -- an analysis based on the American Negro. *Amer. J. Hum. Genet.*, 5, 1-20.
- [9] Hopkinson, D. A., Mestriner, M. A., Cortner, J., and Harris H. (1973) : Esterase D : a new human polymorphism. *Ann. Hum. Genet.*, 37, 119-137.
- [10] Imlah, P. (1964) : Inherited variants in serum ceruloplasmin of the pig. *Nature*, 203, 658-659.
- [11] Ishimoto, G. (1972) : Blood protein variations in Asian macaques. I. Serum proteins and hemoglobin. *J. Anthropol. Soc. Nippon*, 80, 250-270.
- [12] Ishimoto, G. (1972) : Blood protein variations in Asian macaques. II. Red cell enzymes. *J. Anthropol. Soc. Nippon*, 80, 337-350.
- [13] 加納康彦・沢崎徹・小山徳義(1977) : 小型ヤギいわゆるシバヤギの生物学的特性, 実験動物, 26, 239-246.
- [14] Karp, G. W., and Sutton, H. E. (1967) : Some new phenotypes of human red cell acid phosphatase. *Amer. J. Hum. Genet.*, 19, 54-62.
- [15] Kelly, E. P., Stormont, C., and Suzuki, Y. (1971) : Catalase polymorphism in the red cells of horses. *Anim. Blood Grps. Biochem. Genet.*, 2, 135-143.
- [16] Lush, J. L. (1926) : Inheritance of horns, wattles, and color in grade Toggenburg goats. *J. Hered.*, 17, 73-91.
- [17] 野澤謙 (1961) : 家畜の集団における近親交配, 日畜会報, 32, 65-73.
- [18] 野澤謙 (1964) : 五島列島, 長崎県西海岸および老岐における山羊, 日本在来家畜調査団報告, 1, 64-70.
- [19] Nozawa, K. (1970) : Population genetics of farm animals. II. Statistical analyses on the polymorphic populations of goats in southwestern islands of Japan. *Jap. J. Genet.*, 45, 45-57.
- [20] Nozawa, K., Shinjo, A., and Shotake, T. (in press) : Population genetics of farm animals. II. Blood-protein variations in the meat goats in Okinawa Islands of Japan. *Z. Tierzüchtg. Züchtgsbiol.*
- [21] Omoto, K., Harada, S., Tanaka, T., Nigi, H., and Prychodko, W. (1970) : Distribution of electrophoretic variants of serum alpha₁-antitrypsin in six species of the macaques. *Primates*, 11, 215-228.
- [22] Scandalios, G. (1964) : Tissue specific isozyme variations in maize. *J. Hered.*, 55, 281-285.
- [23] Shaw, C. R., and Prasad, R. (1970) : Starch gel electrophoresis of enzymes ; a compilation of recipes. *Biochem. Genet.*, 4, 297-320.
- [24] Shotake, T. (1974) : Genetic polymorphisms in blood proteins in troops of Japanese macaques, *Macaca fuscata*. II. Erythrocyte lactate dehydrogenase polymorphisms in *Macaca fuscata*. *Primates*, 15, 297-303.
- [25] Shotake, T., and Nozawa, K. (1974) : Genetic polymorphisms in blood proteins in troops of Japanese macaques, *Macaca fuscata*. I. Cytoplasmic malate dehydrogenase polymorphism in *Macaca fuscata* and other non-human primates. *Primates*, 15, 219-226.
- [26] Watanabe, S. (1971) : Studies on the polymorphism in serum protein of goats. *Mem. Tokyo Univ. Agric.*, 14, 28-69.
- [27] Watanabe, S., Nozawa, K., and Suzuki, S. (1965) : Studies on the transferrin of goat. I. Typing of transferrin of goat serum by starch gel electrophoresis. *Proc. Japan Acad.*, 41, 326-331.
- [28] Wright, S., and McPhee, H. C. (1925) : An approximate method of calculating coefficients of inbreeding and relationship from livestock pedigrees. *J. Agric. Res.*, 31, 377-383.