

# 判別分析によるカイコの繭型の 雌雄差の検討

北海道大学 中田 徹\*・前田 勇人\*\*  
統計数理研究所 村上 征勝

(1991 年 4 月 受付)

## 1. 緒 論

カイコ (*Bombyx mori*) は鱗翅目に属する完全変態類の絹糸虫であり、繭を作るという特性によって、絹生産を目的とした数千年の人工飼育の結果、完全に飼養化が進み、もはや人手を離れた野外の自然条件では生存自体が不可能となった特殊な生物である。その祖先は近縁種のクワコ (*B. mandarina*)、またはこれに近い昆虫とみられているが、その原産地は中国の揚子江沿岸地帯であると推定されており (吉武 (1988))、野生昆虫から飼育に成功した後世界各地に拡散して、各地域に適応した独特の品種が形成されたと考えられている。しかしカイコとしての飼育化や、各地域でのカイコの品種の遺伝的分化の過程については、なお不明の点が多く残されている。またカイコは長年月にわたる飼育の結果、卵から成虫に至る種々の形質発現に関して、遺伝子分析を中心とした多くの研究成果が蓄積されており、遺伝学研究のための材料昆虫としても有用であり、ショウジョウバエと同様、多くの突然変異系統が見出されている。農業生物としてのカイコは、日本ではとくに育種技術が発展して、絹生産能力に優れた多くの品種が育成され、また飼育技術の向上を伴って、生産効率や品質の上では問題なく世界の蚕糸業をリードしている現状にある。しかし、近年の産業構造や社会情勢の変化により、一次産業は大きな影響を受けて、蚕糸業も水稲栽培を始めとする他の農林水産業と同様、国内での生産量の減退が著しく、輸入品に求められない高品質の生糸素材の原料不足が憂慮されている。

近代におけるカイコの育種技術の発展と生産量の増大は、一代雑種 ( $F_1$ ) の利用によるところが大きく (蚕業試験場 (1917))、現在日本における繭生産はすべてこの  $F_1$  によって行われている。カイコでは農業生物の中で雑種強勢がとくに顕著であり、従って  $F_1$  のもととなる原蚕種の育成が行われているが、普通両親系統として日本種及び中国種が用いられ、その中でとくに生産性に優れた両親を選抜して、特定組合せ能力の高い交雑、すなわち雑種強勢を最高度に発現する交雑組合せを見出すことが必要である。育成された両親系統は別々に隔離して飼育され、成虫 (蛾) になってから正逆交雑を行って  $F_1$  卵を生産することになる。従って、交雑に先だって各系統で雌雄を分離しておく必要があり、多量の試料を処理するための効率的な雌雄分離法の検討が行われてきた。

現在までに開発されている雌雄分離法は、肉眼鑑別、繭の重量差及び限性遺伝の利用などがある。第一の肉眼鑑別法は、終齢幼虫の初期に限られた時期、または蛹期にみられる雌雄の外部形態の特徴を肉眼によって判定する方法であるが、これは熟練を要すると同時に、相当の労

\* 農学部：〒 060 札幌市北区北 9 条西 9 丁目。

\*\* 現 鐘紡株式会社美容研究所：〒 141 品川区上大崎 3 丁目 1 番 7 号。

力がかかり、煩雑な作業となるという欠点がある。第二の繭の重量の雌雄差を利用する方法は、一般に雌は雄より重いので適当な雌雄分界点を設定して、個体別の秤量によって機械的に分離を行うが、労力の節減と迅速な処理が可能である反面、雌雄差が接近する品種の場合は使えないという不利な点もある。第三の限性遺伝を利用する方法は、田島(1938)によって開発された性染色体転座技術であり、これにより雌雄の形質発現が異なるため、雌雄を外観により容易に分離することができる。その後カイコでは卵色、幼虫斑紋、繭色など多くの形質で限性品種が育成され、これは遺伝学の応用として画期的な方法であるが、その反面転座染色体の影響により生理的虚弱性や繭重などの計量的発現が劣るなどの問題が生ずることがある。このように現在までに開発された雌雄分離の方法は、それぞれ一長一短があり、そこで著者は雌雄による繭型の差に注目して以下の検討を行った。

カイコの繭型は品種によりかなり異なり、短楕円型、俵型、ピーナッツ型、紡錘型など複雑に分化しているが、これは上述の世界各地の地域品種の遺伝的分化とある種の関連があると考えられる。また繭型はカイコの吐糸、営繭行動の違いによって決定されるが、これを支配する神経生理学的解析も、現在なお不十分であり、不明の点が多い。雌雄による繭型発現の違いは飼育実験の過程でしばしば観察されることがあるが、繭型の計測自体かなり煩雑かつ困難な作業であり、これを定量的に把握して、品種特性を見出したり、その雌雄差を調査する試みは古くからあったが、実際に雌雄分離のための実用化技術とするには至ってはいない。

ところで、著者は画像処理による生物形態の計測を行うため、カメラとパソコンを連結したシステムを試作し、関係プログラムの開発に成功したので、これを繭型計測に応用して、正確かつ迅速に大量の計測データを得ることができた。そこでこれらの繭型と繭重との関係を調査し、またこれらのデータを総合的に用いて雌雄差に関する判別分析を行い、雌雄分離への応用を中心として検討を試みたので(Nakada(1989))、以下その概要を述べることにする。

## 2. 材料及び方法

供試品種は、主として北海道大学農学部付属農場養蚕部で維持している多くの突然変異系統について、飼育実験の結果得られた繭を用いて、著者の開発した画像処理システムによる計測を行った。使用した機器の構成は、計測対象の入力にビクター製 CCD カメラ、画像処理とデータの統計処理に NEC 製パーソナルコンピュータ RX2、出力は EPSON 製プリンター VP2550 である。これにテックメイト製「眼力」をベースとして著者が改良を加えた解析ソフトを用いた 2 次元の画像処理システムが加わるが、これは 1985 年当初試作したシステムを、その後機器構成を変えてバージョンアップを行ったものである。

カイコの飼育実験は主として 1 蛾育によって行った。これは同一の母蛾の産卵区からふ化した個体群を、それぞれ隔離して飼育する方法であり、普通 500 粒程度の産卵がみられるが、ふ化の揃った蛾区を選んで飼育実験に供し、途中幼虫の 4 齢期に頭数整理を行って上簇、営繭させ、1 区の結繭数が 200~250 個となるように調整した。こうして得られた繭を切開して、蛹と繭層の部分に分け、雌雄を確認して個体別に蛹体重 ( $A_1$ ) 及び繭層重 ( $A_2$ ) を秤量して、繭にナンバーをつけて保存し、後日繭の形状を上述の画像処理システムによって計測した。繭の測定形質は図 1 に示したが、長径 ( $A_3$ )、短径 ( $A_4$ )、断面積 ( $A_5$ ) 及び体積の推定値 ( $A_6$ ) である。本システムは 2 次元の画像解析装置のため体積の計算が難しいが、繭の切口がほぼ真円であることを利用して、断面積画像から回転体の体積を計算して、その推定値とした。このほか、全繭重 ( $A_7 = A_1 + A_2$ ) 及び長幅率 ( $A_8 = A_4 / A_3$ ) を実際に使用したプログラム中での計算の過程で加えた。これらを分析の対象形質とし、一括して表 1 に示した。

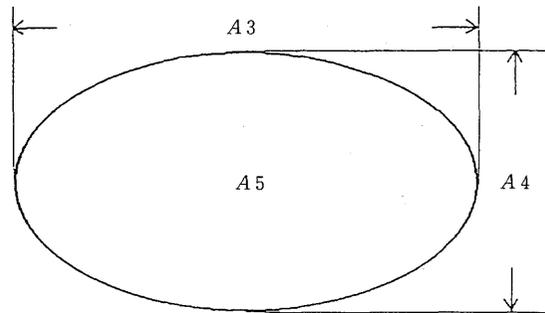


図1. 繭の形態モデルと各変数. A3: 繭の長径, A4: 繭の短径, A5: 繭の断面積, A6: 繭の体積 (断面積画像より回転体として計算), A8: 長幅率 (=A4/A3).

表1. 繭重及び繭型の計測の対象形質.

略号	対象形質と計測単位
A1	蛹体重 (cg)
A2	繭層重 (cg)
A3	繭長径 (mm)
A4	繭短径 (mm)
A5	繭断面積 (mm <sup>2</sup> )
A6	繭体積 (mm <sup>3</sup> )
A7	全繭重 (A1+A2)
A8	長幅率 (A4/A3)

次に、これらの変数の値が雌雄によってどの程度異なるかを調査した。まず最初に、それぞれの品種ごとに個々の変数 (A1~A8) について判別分析を行い、ついで A3 から A8 までの変数を組み合わせて、最適の雌雄判別を示す変数選択を調査した。これは全繭重と繭型諸変数との組合せによる、最も効果的な雌雄分離を検討するためであり、繭を切開しないままで雌雄を分ける場合、全繭重以外に上記のどの繭型変数が有効であるか、また繭型変数が加わることによって、雌雄分離の効率がどの程度上昇するかを調べる目的で設定したものである。以上の判別分析の実行には膨大なデータの処理が必要であり、また変数の組合せも多く計算も複雑であり、大型計算機を使用する必要があるので、北海道大学大型計算機センターの日立製作所製コンピュータ HITAC M-682H を用い、SPSS, BMDP, SAS 及び自作のプログラムパッケージを併用して行ったが、本論文の関係データの分析には主として SPSS を使用した (三宅・山本 (1983), 三宅他 (1983))。

これらの一連の実験は 1985 年に着手し、現在品種間差異の検討や品種間交雑による後代の遺伝学的調査を続行中であるが、本論文では 1985 年から 1987 年までのデータを用いて、主として品種内での雌雄差の発現について分析した結果の概要を報告する。

### 3. 結 果

#### 3.1 繭形質の計測と各形質の雌雄差

各年度に得られた実験データは膨大であり、その一部として 1985 年春蚕期のデータを、特性品種 (抜粋, 表 2-1), 特性品種間交雑 F<sub>1</sub> (表 2-2) 及び実用品種 (表 2-3) の 3 グループについ

表 2-1. 繭重及び繭型の基礎計測データ, 平均値及びその雌雄差 (♂/♀%) (1985, 春, 特性系原種抜粋).

品種名		個体数	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
			cg	cg	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>3</sup>	cg	
Tw1-1	♀	105	117.1	16.6	32.0	17.7	445	5,223	133.7	.555
	♂	105	82.4	14.8	30.6	17.1	414	4,639	92.3	.560
	(♂/♀%)		(70)	(89)	(96)	(97)	(92)	(89)	(73)	(101)
Eq	♀	33	77.7	8.2	26.6	14.4	301	2,806	85.9	.542
	♂	33	61.9	8.3	26.3	13.6	286	2,538	70.3	.521
	(♂/♀%)		(80)	(101)	(99)	(95)	(95)	(90)	(82)	(96)
Ge	♀	33	127.3	19.4	31.6	15.2	396	4,161	146.7	.487
	♂	33	103.8	19.7	31.5	15.3	394	4,034	123.5	.481
	(♂/♀%)		(82)	(102)	(100)	(101)	(99)	(99)	(84)	(101)
No-1	♀	27	122.8	17.2	28.6	18.5	403	4,800	140.0	.651
	♂	33	95.7	17.6	28.8	18.6	411	4,951	113.3	.648
	(♂/♀%)		(78)	(103)	(101)	(101)	(102)	(103)	(81)	(99)
ow	♀	32	85.0	11.6	29.9	13.8	337	3,093	96.6	.463
	♂	32	75.7	12.2	28.8	13.9	339	3,028	87.9	.488
	(♂/♀%)		(89)	(105)	(96)	(101)	(98)	(98)	(91)	(105)
Pb	♀	20	99.3	14.0	25.6	14.2	297	2,816	113.3	.555
	♂	33	76.9	13.3	26.0	13.9	293	2,709	90.2	.537
	(♂/♀%)		(77)	(95)	(101)	(98)	(99)	(96)	(80)	(97)
Ro	♀	33	108.2	17.3	28.4	15.5	366	3,805	125.5	.547
	♂	33	80.2	16.5	28.3	15.5	364	3,759	96.6	.550
	(♂/♀%)		(74)	(96)	(100)	(100)	(99)	(99)	(77)	(100)

表 2-2. 繭重及び繭型の基礎計測データ, 平均値及びその雌雄差 (♂/♀%) (1985, 春, 特性系原種間交雑).

品種名		個体数	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
			cg	cg	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>3</sup>	cg	
TE (Tw1×Eq)	♀	50	100.1	14.4	31.9	17.9	458	5,392	114.5	.562
	♂	50	116.0	21.8	32.9	17.3	475	5,487	137.7	.525
	(♂/♀%)		(116)	(151)	(103)	(97)	(104)	(102)	(120)	(94)
TG (Tw1×Ge)	♀	50	164.7	25.6	34.5	18.2	526	6,422	190.3	.529
	♂	50	131.6	24.4	33.8	18.4	509	6,274	156.0	.545
	(♂/♀%)		(80)	(95)	(98)	(101)	(97)	(98)	(82)	(103)
TN (Tw1×No)	♀	50	160.3	24.9	33.5	20.5	555	7,578	185.1	.612
	♂	50	125.5	24.5	32.6	19.9	527	6,922	150.0	.612
	(♂/♀%)		(78)	(98)	(97)	(97)	(95)	(91)	(81)	(100)
TO (Tw1×ow)	♀	50	142.9	20.9	33.7	17.0	477	5,449	163.8	.505
	♂	50	110.6	20.4	32.1	17.0	530	5,160	131.0	.529
	(♂/♀%)		(77)	(98)	(95)	(100)	(111)	(95)	(80)	(105)
TP (Tw1×Pb)	♀	50	148.2	22.5	31.9	17.8	468	5,600	170.2	.559
	♂	50	101.2	19.5	30.6	16.4	411	4,558	120.7	.536
	(♂/♀%)		(68)	(87)	(96)	(92)	(88)	(81)	(71)	(96)
TR (Tw1×Ro)	♀	50	158.7	25.0	34.1	19.2	540	6,991	183.6	.566
	♂	50	116.9	23.3	33.0	18.6	510	6,360	140.1	.563
	(♂/♀%)		(74)	(93)	(97)	(97)	(94)	(91)	(75)	(100)

表 2-3. 繭重及び繭型の基礎計測データ, 平均値及びその雌雄差 (♂/♀%) (1985, 春, 実用系原種等).

品種名	個体数	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
(テスター)		cg	cg	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>3</sup>	cg		
Sr	♀	55	149.6	29.6	31.1	18.4	478	5,921	179.2	.594
	♂	55	112.3	27.2	30.4	18.5	469	5,787	139.5	.610
	(♂/♀%)		(72)	(86)	(97)	(96)	(92)	(89)	(74)	(99)
Tr	♀	55	132.8	25.9	29.8	18.6	458	5,704	158.7	.627
	♂	55	95.0	22.3	28.9	17.9	423	5,071	117.3	.620
	(♂/♀%)		(75)	(92)	(98)	(100)	(98)	(98)	(78)	(103)
Nr	♀	54	145.5	29.6	30.3	17.4	436	5,070	175.1	.575
	♂	55	119.6	28.4	31.1	17.7	457	5,442	148.0	.570
	(♂/♀%)		(82)	(96)	(103)	(102)	(105)	(107)	(85)	(99)
Cw	♀	33	109.7	17.8	30.0	17.8	449	5,377	127.5	.593
	♂	33	82.5	15.8	29.1	17.4	422	4,944	98.4	.598
	(♂/♀%)		(75)	(89)	(97)	(98)	(94)	(92)	(77)	(101)
(実用系原種)										
ほまれ (S)	♀	60	188.9	62.9	33.6	24.0	654	10,214	251.8	.717
	♂	60	137.9	58.6	33.2	24.7	653	10,576	196.5	.746
	(♂/♀%)		(73)	(93)	(99)	(103)	(100)	(104)	(78)	(104)
大白	♀	60	183.2	64.2	31.9	23.6	600	9,293	247.4	.745
	♂	60	138.8	61.0	31.1	23.5	586	9,027	199.8	.759
	(♂/♀%)		(76)	(95)	(98)	(100)	(98)	(97)	(81)	(102)
C148	♀	60	186.7	57.7	34.0	23.6	650	10,133	244.3	.695
	♂	60	140.0	55.1	33.3	22.6	609	9,025	194.6	.680
	(♂/♀%)		(75)	(95)	(98)	(96)	(94)	(89)	(80)	(98)
C149	♀	60	177.4	61.0	34.8	23.3	641	9,797	238.3	.670
	♂	60	132.6	56.2	34.1	22.8	619	9,239	188.8	.668
	(♂/♀%)		(75)	(92)	(98)	(98)	(96)	(94)	(79)	(100)
やまと	♀	58	173.8	53.9	38.7	19.1	617	7,758	227.7	.493
	♂	60	130.3	50.7	37.4	18.4	577	7,067	181.0	.494
	(♂/♀%)		(75)	(94)	(97)	(97)	(94)	(91)	(79)	(100)
N149	♀	60	175.7	53.1	39.2	19.2	634	8,119	228.8	.490
	♂	59	130.7	48.5	38.7	18.8	607	7,670	179.2	.487
	(♂/♀%)		(74)	(91)	(98)	(98)	(96)	(94)	(78)	(99)

て示した。カイコには、特定の遺伝子をもち遺伝学等の実験材料昆虫として有用な突然変異系統と、実際の絹生産に使用される実用系統の2種があり、各種の計量的形質の発現も系統によりかなり異なる。従って繭の重量や大きさも、実用系統では品種改良の効果が大幅にみられ、特性系統とは相当の差がある。例えば表中のデータから全繭重 (A7) について比較すると、特性系統では雌で0.8~1.5 g, 雄で0.7~1.2 g程度であるが、実用系統では雌で2.2~2.5 g, 雄で1.8~2.0 gに及んでおり2倍以上になっている。また、絹生産の基礎となる繭層重 (A2) では特性系統で雌雄とも8~20 cgの範囲にあるが、実用系統雌で55~65 cg, 雄で50~60 cg程度となり、系統間の差はさらに大きくなっている。実際の農家での飼育には、これらの実用品種のF<sub>1</sub>が用いられ、雑種強勢によりさらに繭生産が増加することになる。繭の大きさについても同様であり、体積 (A6) の推定値を比較すると、両系統の差は2~3倍に及んでいる。ここでテ

ターとして示した系統は現在著者の行っている倍数体の誘起と継代実験のために、実用系と特性系の交雑により育成したもので、これらの数値は両者のほぼ中間値となっている。また、長幅率 (A8) の場合、実用系のうち長俵形の日本種では 0.5 程度、また短楕円形の中国種では 0.7 前後と、繭型の差を反映して極端に異なる結果となっている。

一方、各形質の雌雄差を  $\delta/\text{♀}$  値 (%) として示すと、全繭重では系統間の差はあまりみられず、80% 前後であるが、限性品種であるテスターの Nr や特性品種の ow では雌雄差が接近して、ほぼ 90% に及んでいる。繭型に関する計測値についての雌雄差は品種により多少異なり、実用系の原種では雌がやや大きい傾向がみられ、そのほかテスターの Sr, Cw や特性系の Tw1 でも同様の傾向を示しているが、一般に特性系では繭型について明確な雌雄差がみられない品種が多い。しかし後述するように、判別分析を行うと、雌雄差が必ずしも明確でない繭型変数が選択される場合があるのに注目する必要がある。

以上のデータの中で、特性系原種間交雑 TE (Tw1 ♀ × Eq ♂) の後代 F<sub>1</sub> では、蛹体重 (A1) 及び繭層重 (A2) の雌雄差が逆転し、 $\delta > \text{♀}$  となっている。これは、Nakada (1975) の報告し

表 3. 個々の繭重及び繭型変数 (A1~A8) による判別分析 (1985, 春).

品種名	供試数		個々の変数による判別効果 (%)							
	♀	♂	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
(特性系原種)										
Tw1-1	105	105	98	76	68	66	70	69	97	—
Eq	33	33	95	—	—	68	64	65	88	61
Ge	33	33	85	—	—	—	—	—	83	—
No-1	27	33	95	—	—	—	—	—	93	—
ow	32	32	66	—	53	—	—	—	61	58
Pb	20	33	93	62	—	57	—	—	91	57
Ro	33	33	99	61	—	—	—	—	98	—
(特性系 F <sub>1</sub> )										
TE	50	50	92	100	73	67	61	—	100	76
TG	50	50	99	65	55	—	54	—	99	62
TN	50	50	100	—	67	62	67	68	99	—
TO	50	50	97	60	77	—	—	57	94	72
TP	50	50	99	84	64	90	86	89	99	67
TR	50	50	99	69	61	60	65	66	99	—
(テスター)										
Sr	55	55	96	65	60	—	55	—	95	56
Tr	55	55	99	75	57	69	67	70	96	—
Nr	54	55	90	56	59	51	62	61	85	—
Cw	33	33	91	74	64	52	64	59	89	—
(実用原種)										
ほまれ (S)	60	60	97	66	56	63	54	54	98	61
大白	60	60	96	65	59	—	57	52	94	—
C148	60	60	93	58	68	69	70	72	90	53
C149	60	60	92	69	63	58	63	61	91	—
やまと	58	60	95	67	59	67	62	64	91	—
N149	60	59	96	70	56	57	61	61	97	—

註. —印は  $F < 2.0$  のとき.

ている伴性遺伝現象によるものであり、特性品種 Eq の Z 染色体上の長節遺伝子 (e) に原因があることは明らかである。

### 3.2 個々の変数による雌雄判別の効果

個々の計測変数による雌雄判別の検討を行ったので、その結果の一部を表 3 に示した。

まず重量形質について検討すると、特性系原種の場合、蛹体重 (A1) では判別効果は品種により、また飼育期によりかなりの変動がみられるが、予想されたように雌雄の重量差の大きい品種ほど 2 群の分離が容易であることが分かる。例えば 1985 年のデータで調べると、雌雄差の最も離れた ♂/♀値が 70% である品種 Tw1 では、98% という高い判別率を示すが、一方この ♂/♀値が 89% と接近している品種 ow では、66% という低い判別率となっている。繭層重 (A2) では、一般に雌雄差が接近しているため判別効率が低くなり、供試したすべての品種で分離は困難となっている。従ってこれらの両形質の和であり、繭を切開しないで判別を試みる場合の重要な形質である全繭重 (A7=A1+A2) では、蛹体重 (A1) の場合よりやや判別効率が低下する。なお、本実験で使用した SPSS のプログラムによれば、この判別は F 検定を利用しており、 $F < 2$  の場合は効果なしとして判別率の表示を中止しているため、これに従い該当する場合は空欄とした。

次に形に関する形質を検討すると、いずれの形質についても ♂/♀値が 100% に近いことから予想されるように、雌雄差は明らかでなく、繭層重の場合とほぼ同じレベルの判別にとどまっており、判別率の空欄が多くなっている。これらの繭型の雌雄差に関する品種間差異については、これだけのデータから結論を出すのは尚早であり、より多くのデータの蓄積を要する。

以下、特性系の交雑  $F_1$  や実用系の各品種についても、伴性遺伝により雌雄差の完全な逆転がみられた TE (Tw1 ♀ × Eq ♂) を除いて、多少の変動はみられるが、ほぼ同様の傾向があり、繭重変数とくに全繭重での判別は、特性品種の場合よりかなりの効率がみられる反面、上述の個々の繭型変数のみで雌雄を効率的に分離するのはやはり困難である。なお、以上のデータは 1 蛾育で得られたものであり、混合育の場合は蛾区内と蛾区間の分散成分が輻輳して、判別効果が低下するものと予想される。

### 3.3 総合的な判別による分離効率の改良

次に、繭を切開しないままで、どの程度雌雄判別が可能であるかを検討するため、重量と形に関係する変数 (A3~A8) を総合的に組み合わせ、判別分析を行った。ここで想定されるすべての変数の組合せは、1 変数で 6 組合せ、2 変数で 15 組合せ、以下 6 変数まで合計 63 通りの組合せが可能であるから、各品種ごとに、それらの全部について雌雄の 2 群判別を行い、各グループの重心間距離を最大とする変数組合せを抽出して、その結果の一部を表 4 として示した。

特性系については、その変数選択のパターンは品種または飼育期によりかなり異なる。しかし、全繭重と繭型変数のいずれかとの組合せであり、繭型変数が複数となる場合もみられた。判別効率は全繭重単独の場合より上昇するが、その程度は品種により異なる。全繭重単独で 98~99% という判別率の高い品種ではそれ以上の効率上昇を望めないのは当然であるが、判別率の低い品種では総合判別により効率の上がる場合と、あまり変化がみられない場合とがある。

特性系  $F_1$  では一般に全繭重のみで雌雄分離の効率がよく、従って繭型変数が関与するケースが少ない。しかし、TE (Tw1 ♀ × Eq ♂) の場合は、伴性遺伝の関係で繭重の雌雄差が異常に接近したり、または逆転しており、そのため全繭重のほかに繭型諸変数が選択されて、総合判別の効果が著しく上昇する。この形質発現は飼育年度や時期による差が大きく、3 回の実験のうち、1985 年春では繭重の雌雄差が完全に逆転して、繭重のみでの判別が 100% 可能であり、繭

表4. 繭重及び繭型変数 (A3~A8) による判別分析 (1985, 春).

品種名	供試数 ♀ ♂		変数の組合せによる判別 (A3~A8)				単独変数 (A7)						
			誤判別		判別率 %	最適の変数選択組合せ						判別率 %	効率 上昇%
			♀	♂		誤/供試	A3	A4	A5	A6	A7		
(特性系原種)													
Tw1-1	105	105	3	0	3/210	98.6			○		○	98.6	0.0
Eq	33	33	1	0	1/66	98.5	○				○	87.9	10.6
Ge	33	33	3	3	6/66	90.9	○		○		○	83.3	7.5
No-1	27	33	2	2	4/60	93.3	○				○	93.3	0.0
ow	32	32	9	4	13/64	79.7		○			○	60.9	18.8
Pb	20	33	1	0	1/53	98.1			○		○	90.6	7.5
Ro	33	33	1	0	1/66	98.5	○				○	98.5	0.0
(特性系 F <sub>1</sub> )													
TE	50	50	0	0	0/100	100.0	○	○		○	○	100.0	0.0
TG	50	50	1	0	1/100	99.0		○			○	99.0	0.0
TN	50	50	1	0	1/100	99.0		○	○	○	○	99.0	0.0
TO	50	50	1	1	2/100	98.0				○	○	94.0	4.0
TP	50	50	1	0	1/100	99.0	○			○	○	99.0	0.0
TR	50	50	1	0	1/100	99.0			○		○	99.0	0.0
(テスター)													
Sr	55	55	0	0	0/110	100.0	○				○	94.6	5.4
Tr	55	55	3	0	3/110	97.3			○		○	96.4	0.9
Nr	54	55	8	4	12/109	89.0			○		○	85.3	3.7
Cw	33	33	2	1	3/66	95.5	○		○	○	○	89.1	6.4
(実用系原種)													
ほまれ (S)	60	60	1	1	2/120	98.3		○		○	○	97.5	0.8
大白	60	60	3	1	4/120	96.7					○	94.2	2.5
C148	60	60	3	0	3/120	97.5	○				○	90.0	7.5
C149	60	60	2	2	4/120	96.7		○	○		○	90.8	5.9
やまと	58	60	5	0	5/118	95.8					○	90.7	5.1
N149	60	59	1	1	2/119	98.3					○	96.6	1.7

型変数が関連する余地がない。一方、1985年夏では雌雄差が逆転してはいるもののその差があまり大きくないので、繭重のみでの判別では不十分であり、いくつかの繭型変数が取り込まれてほぼ完全な分離が可能となる。しかし、1986年春のデータでは繭重の雌雄差がさらに接近して、総合判別の際にも全繭重 (A7) が選択されないという例外的な結果となっている。また、この交雑形式では繭型変数としてはほかの品種や交雑の場合にあまり選択されていない長幅率 (A8) が選択されている。また、実用系の F<sub>1</sub> では全繭重単独で十分な分離がみられた。

実用系については、実際の雌雄分離を必要とする系統であり、総合的な判別分析によって、どの程度の効率が上がるか注目される。分析の結果、全繭重単独の場合に比べて、総合判別では効率がかなり上昇することが分かった。とくに雌雄差の接近している品種、例えば北大系の「ほまれ」や限性系の Nr では、繭型変数を組み合わせることによって、分離の効率が飛躍的に改善された。これは飼育期とも関係があり、1986年春のように実用系品種全般で雌雄差が接近する場合は、繭型変数の取り込みが有効であるが、いずれにせよ全繭重のみでの雌雄判別が不十分

の場合は、繭型変数が補助的な役割を効果的に演ずることになるのは確実である。なお特例として、総合判別によりかえって効率が低下するケースがみられたが、これは雌雄両グループの重心間距離を最大とする変数組合せを採用しているのも、変数組合せにより判別スコアが微妙に変る個体があり、そのため重心間距離と判別効率が必ずしもパラレルとなっていないが、これらはあくまでも例外である。

以上の結果を飼育期や供試系統別にまとめたのが表5である。飼育期による変動は多少認められるが、いずれも判別の効率は上昇しており、中でもテスターや実用系統で著しい。特性品種については、ここで供試した品種の大半が全繭重のみで92.5%の雌雄分離が可能であり、これから2.4%の効率上昇にとどまり、繭型変数が取り込まれる余地が少なかったが、さらに多くの品種を調査すれば数値が変動する可能性がある。一方、テスターや実用系ではそれぞれ7.2%、5.0%の効率上昇がみられ、飼育期との関連では1985年夏や1986年春で大幅の効率

表5. 総合判別による雌雄鑑別効率の改良 (1985~1987, 飼育期, 系統別)。

年次・系統	区数	総合判別 (A3~A8) 誤判別/供試数 的中率		単独判別 (A7) 誤判別/供試数 的中率		効率 改良
(1985年春)			%		%	%
特性系	10	29/1,062	97.3	61/1,062	94.3	3.0
テスター	4	18/ 395	95.4	33/ 395	91.6	3.8
実用系	6	20/ 717	97.2	48/ 717	93.3	3.9
F <sub>1</sub>	6	6/ 600	99.0	10/ 600	98.3	0.7
(1985年夏)						
特性系	3	11/ 260	95.8	15/ 260	94.2	1.6
テスター	1	4/ 100	96.0	5/ 100	95.0	1.0
実用系	3	21/ 251	91.6	59/ 251	76.5	15.1
F <sub>1</sub>	10	22/1,080	98.0	61/1,080	94.4	3.6
(1986年春)						
特性系	13	83/1,047	92.1	102/1,047	90.3	1.8
テスター	5	26/ 337	92.3	79/ 337	76.6	15.7
実用系	5	24/ 546	95.6	49/ 546	91.0	4.6
F <sub>1</sub>	6	29/ 646	95.5	54/ 646	91.6	3.9
(1987年春)						
特性系	6	19/ 391	95.1	28/ 391	92.8	2.3
テスター	6	24/ 352	93.2	40/ 352	88.6	4.6
実用系	5	7/ 518	98.6	16/ 518	96.9	1.7
(年度別)			%		%	%
1985	43	131/4,465	97.1	292/4,465	93.5	3.6
1986	29	162/2,576	93.7	284/2,576	89.0	4.7
1987	17	50/1,261	96.0	84/1,261	93.3	2.7
(系統別)						
特性系	32	142/2,760	94.9	206/2,760	92.5	2.4
テスター	16	72/1,184	93.9	157/1,184	86.7	7.2
実用系	19	72/2,032	96.5	172/2,032	91.5	5.0
F <sub>1</sub>	22	57/2,326	97.5	125/2,326	94.6	1.9
合 計	89	343/8,302	95.9	660/8,302	92.1	3.8

上昇がみられた。

次に誤判別個体の内容をみると、総合判別の場合、供試した89実験区の全個体数8,302頭のうち343頭の誤判別があり、その内容は雌246頭に対して雄97頭となり、雌の個体が雄の3倍に近いことが判明した。一般に雌は雄より重いから、両グループの混在する部分は軽い雌と重い雄から成るが、以上の結果から例外的な軽量の雌の存在が問題となることが分かった。全繭重単独で判別したときの誤判別も雌個体が多く、この中の多くが総合判別によって雌として正しく判別されるが、なお誤判別として残る部分がある。

### 3.4 変数選択のパターンと変数間相関

変数選択のパターンは表6-1に示したようになりかなり複雑である。前述のように、全繭重と繭型変数のいずれかの組合せというのが一般的であるが、各実験区ごとに63の変数組合せがあり、その中で最良の分離効率を示す組合せが採用されるとなると、その順位はかなり微妙であると予想される。3年間の実験的検討で得られた89の全実験区についてまとめてみると、2変数、すなわち全繭重と繭型変数の中のいずれかという組合せが64実験区と過半数を占めて最も多く、繭型変数との組合せでは、断面積(A5)22回、長径(A3)19回、体積(A6)14回、短径(A4)8回の順となった。ついで4変数及び3変数の組合せの順となるが、5変数や1変数のみというケースもみられた。またこの分析の過程で選択された変数のトータルは、89の全実験

表6-1. 総合判別における変数選択のパターン  
(1985~1987, 合計89区).

変数選択の 個数	頻度	主要な変数組合せ (頻度)
1	2	A7 (2)
2	63	A3-A7 (19), A4-A7 (8) A5-A7 (22), A6-A7 (14)
3	7	A3-A6-A7 (2)
4	15	A3-A5-A6-A7 (7) A4-A5-A6-A7 (3) A5-A6-A7-A8 (3)
5	1	A3-A4-A6-A7-A8 (1)
合 計	89	

表6-2. 総合判別における各種の変数(A3~A8)  
選択の回数(1985~1987, 89区, 系統別, 重  
複計216回).

変数名	特性系 (32区)	F <sub>1</sub> (22区)	実用系 (35区)	合 計 (89区)
A3	12	7	13	32
A4	3	6	7	16
A5	15	11	14	40
A6	7	12	14	33
A7	32	21	35	88
A8	1	4	2	7
合 計	70	61	85	216

表 7-1. 変数間相関行列 (1986, 春, Tw1: ♀  $n=55$ , ♂  $n=55$ ).

変数	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1.00							
A2	.57	1.00						
A3	.54	.48	1.00					
A4	.29	.39	.42	1.00				
A5	.52	.52	.82	.83	1.00			
A6	.45	.49	.67	.92	.97	1.00		
A7	.99	.69	.56	.33	.56	.49	1.00	
A8	-.23	-.09	-.54	.53	.01	.22	-.22	1.00

表 7-2. 変数間相関行列 (1986, 春, 各種原種合計, 23 実験区平均値).

変数	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1.00							
A2	.73	1.00						
A3	.59	.56	1.00					
A4	.51	.52	.40	1.00				
A5	.66	.65	.84	.79	1.00			
A6	.63	.63	.70	.90	.97	1.00		
A7	.99	.82	.61	.53	.69	.66	1.00	
A8	-.05	-.02	-.51	.56	-.01	.19	-.05	1.00

区で合計 216 となるが, 全繭重 (A7) で 88 回, 断面積 (A5) 40 回, 体積 (A6) 33 回, 長径 (A3) 32 回, 短径 (A4) 16 回の順となり, 長幅率 (A8) はわずか 7 回であった (表 6-2 参照).

判別分析の変数選択のパターンをみると, A3 から A8 までの 6 変数の中, 3 変数以上が選択される場合がしばしばみられる. この中で重量に関係するのは A7 のみであるから, ここでは複数の繭型変数が選択されたことになる. これは異なる繭型変数相互で, 雌雄分離に関して独立的な情報を提供したものと考えられるから, 変数間の相関を調べる必要がある. そこで A1~A8 までの変数間の相関行列の例を表 7-1 として示した. また, この相関行列の値は品種により多少の変動があるので, 1986 年の 23 実験区データについて, 相関係数の品種間の平均値を求め, 各変数相互の相関の程度を比較した. その結果は表 7-2 から明らかのように, A3 から A8 までの各種の変数相互を比較すると, A5-A6, A4-A6 で高い正の相関がみられ, 以後 A3-A5, A4-A5 の順となり, 繭型の計測形質間で関連がみられる. しかし A8 はほかの変数に対して明確な正の相関が認められず, とくに A3-A8 では負の値を示し, 逆相関となっている. これらの変数間相関と変数選択のパターンとの関係を調べると, 相互の相関関係の高い変数, 例えば A5-A6, A4-A6 などが選択されている例が少なくない. 逆にほかの繭型変数と相関関係のみられない A8 が選択されるケースはごく少ない.

#### 4. 考 察

従来の研究結果について簡単に紹介すると, 前述のように, カイコの雌雄鑑別については古くから多くの研究がある. 成虫化に先立ち雌雄を分けておくことは交配の作業の効率化や防疫的にみて必要であったから, いろいろな方法が考えられた. その主なものは, 幼虫の体重, 体

型及び斑紋、繭の重量や蛹の形態などが注目されて検討されたが、幼虫形質については雌雄との関連が薄く、また蛹の形態をみるためには繭を切開する必要がある、作業の煩雑さや労力の点で問題があった。繭重による方法は、月田 (1896)、横田 (1898) 及び勝木 (1918) 等による先駆的な研究があり、雌繭が雄繭より重いことを利用して各種の繭秤が試作開発されたが、実際には効率的な雌雄の分界点の決定がかなり難しく、中間領域に 30% 程度の個体が含まれ、明確な分離が困難であるという問題があった。この分界点の効果的な設定については、のちに桑名 (1936)、四方 (1964)、西沢 (1965) などの報告がある。瀬尾 他 (1986) は実際に繭の雌雄分離のための高速重量選別機の試作を進め、10 階級に分けて選別精度の検討を行っている。

外山 (1909) はカイコの雑種強勢の研究の結果、一代雑種 ( $F_1$ ) の有利性を唱え、以降  $F_1$  の普及とともに、蚕種製造上必要なさらに効率的な雌雄鑑別法の開発が急がれた。石渡 (1904) は 5 齢幼虫初期に雌の腹面に特徴的に現れる 2 対の斑点を発見し、それぞれ石渡前腺、石渡後腺とした。また、加藤 (1915) はやはり 5 齢幼虫の雄の腹面にヘロルド腺付着点が透視できることを見出したので、これにより幼虫期での雌雄の肉眼鑑別が可能となった。しかし、これらの特徴の識別には 5 齢期のごく短期間のみ有効であり、また相当の熟練が必要であり、その普及にはかなりの時間を要した。この方法の欠点はやはり熟練した多くの人手を要し、また識別の時期を誤ると鑑別の誤差が生じやすく、直接手で触れるためカイコの健康を害する虞れがあることなどである。

遺伝学の実用面への応用として、小針 (1942) は伴性遺伝を利用して幼虫初期に雌雄を分ける方法を考案した。これは Z 染色体上の油蚕遺伝子を利用して、交雑後代  $F_1$  の雌雄の皮膚の透明度の異なる交雑組合せを開発したもので、産絹効率の高い雄蚕を選択的に飼育できるという利点もあり、実際に指定品種となったこともある。田島 (1938) は X 線照射により斑紋遺伝子を含む染色体の断片を W 染色体に転座させることに成功し、いわゆる限性品種といわれる雌雄の幼虫斑紋が異なる系統を育成した。これは雌雄分離に際して熟練も不用であり、誰でもできるという利点がある。以降、幼虫斑紋では橋本 (1948) の育成した限性虎蚕などがあり、その後、形蚕と姫蚕で雌雄分離のできる実用系統が数多く育成されている。さらに田島 他 (1951) によって卵色限性系統が、また木村 他 (1971) による限性黄繭が育成され、雌雄分離をさらに容易にする手段が開発されている。この限性遺伝を利用する方法は、遺伝学の成果を実地に応用した画期的な手段であるが、その反面雌の転座染色体の存在により幼虫の生長発育に悪影響があり、強健性や繭重などの計量的形質が劣るという欠点もあり、この点の改良が進められている (木村 (1977))。

このほか、雌雄鑑別の手段として、蛹の比重、電気抵抗や高周波、電気容量などの物理的方法、あるいは幼虫のふ化の早晩による方法 (室賀 (1941)) が検討され、蛹の体型による雌雄分離機の試作もみられた (岩野・西尾 (1966))。また近年、都島・西出 (1990) は、蛹の雌雄による外部形態の差を肉眼鑑定に代えて画像解析のパターン認識を利用して見分ける方法を開発したが、精度や所要時間などまだ問題も多く、この方法による実用化は難しい現状にある。

カイコの繭型や繭の大小については、品種によりかなり異なるが、一代雑種の原因として、楕円形の中国種とくびれの深い長俵型の日本種が用いられるようになった関係で、とくに絹生産性や繰糸検定による繊維特性との関連を調査したデータが多く残されている。従って、繭型に関係する諸形質と繭重との相関関係は検討されているが (見波 (1921)、桜井 (1924)、小針・小岩井 (1930))、これらの繭形質を効果的に計測する方法の開発は難しく (服部・紀井 (1937))、繭型の差を雌雄鑑別に役立てようとする試み (福田 (1914)) はあるものの実用化に至ってはいない。また、繭型は一般に交雑によって両親系統の中間的な形を示す報告が多く (平石 (1912)、勝木・長沢 (1917))、主遺伝子作用を報告した例は少ない。Murakami and Ohtsuki

(1989) は、カイコの熱帯種、カンボージュを用いて繭色や繭型の遺伝分析を行い、この種の繭の特徴である紡錘型の遺伝に関して単遺伝子作用を報告しているが、繭型の遺伝の詳細についてはなお不明の点が多い。蒲生 他 (1985) は地理的品種のダイアレルクロスを行い、繭型や繭の大きさに関する遺伝分析を試みている。その結果、これらの形質発現は不完全優性遺伝子に支配され、遺伝率も高く有効遺伝子数を5個と推定した。しかしながら、これらの繭の形態に関するデータを収集するのは煩雑な作業であり、この種の研究の基礎となるデータの蓄積を阻害している。

著者の考案した画像処理システムは、このように従来困難であった繭型の迅速かつ正確な計測を目的として開発したものであり、ある程度の計測データの蓄積ができたので、以下、雌雄の繭型の差を中心として考察を加える。

まず、個々の計測変数の雌雄分離への効率をみると、雌雄差の著しい形質である全繭重 (A7) が最も優れていることが分かる。本研究では、この全繭重のみによる判別効果は品種によりかなり異なり、最低61%から最高100%、全データの平均で92%となり、従来の報告よりかなり高い値が得られた。これは1蛾育実験によるデータ、すなわち同一母蛾に由来する兄弟姉妹集団データを用いたため、雌雄両グループの分散が最低に抑えられたこと、またコンピュータの利用により雌雄の分界点の設定が効果的に行われた結果、雌雄分離の効率がきわめて高くなったものと思われる。繭型については、視覚的には、一般に雌でやや大型であること以外には雌雄の差は明らかではないが、実際に個々の計測変数についても判別効率は低く、その最高値をみても特性系で80%、F<sub>1</sub>で90%、テスター及び実用系で75%程度であり、全繭重の場合には遠く及ばない。従ってその雌雄差を示す指数である、♂/♀値はほぼ1に近く、伴性遺伝によるF<sub>1</sub>の例外的なデータを除いて、極端な差はみられない。

前田 (1987) は、数種の特性品種とその交雑F<sub>1</sub>を用いて、これらの変数 (A3~A8) を総合的に組み合わせで判別分析を行い、最適の雌雄分離を示す変数の組合せを探索したところ、重量変数単独の場合と比較して、かなりの分離効率の向上を得ることができ、その変数組合せのほとんどは全繭重と繭型変数のいずれかというパターンで示された。すなわち個々の繭型変数はその雌雄鑑別能力は低くても、全繭重と組み合わせることによって分離効率を改良することができ、重要な補助変数の役割を果たすことが明らかになった。この効率の改良は本実験では実際に雌雄分離を必要とする実用系の場合にとくに著しく、例えば1986年春蚕期の北大系の「ほまれ」のように、判別効率が全繭重データのみでは64%であったものが、体積データが加わることにより94%へと、30%の大幅の改良を示した品種もみられた。またテスターのNr, Trでも複数の繭型変数を加えることによってそれぞれ29%、23%の分離効率の上昇がみられた。

誤判別の内容については、繭の軽量または小型の雌と、重量または大型の雄とが輻輳することになるが、個体数では前者が後者を大きく上回っている。一般に栄養や温度などの飼育環境が劣る場合、軽量の雌が多発するから、このような場合には繭型分析によって、これら軽量の雌個体の大半は正しく判別され得る。しかし、さらに飼育環境が悪化すれば、集団の変異性が増大して個体間のバラツキが大きくなり、この方法によっても正確な雌雄分離が難しくなる。このような飼育条件の悪化は蚕種の生産上からみても問題となるから、極端な条件の設定は実際上考慮にいれなくてもよいかもしれない。従ってこのような雌雄の重量差の接近を生じ易い飼育条件、例えば低温や日照不足による桑の生長不良を起こした場合の春蚕期、高温や葉質の劣化がみられる夏蚕期などでは、総合判別の効率が上昇することが期待できる。また、品種特性として重量の雌雄差が接近している場合も同様に分離効率に影響がみられ、繭型データの利用によって効率が改良されることが分かった (Nakada (1989))。

変数組合せに関して詳細な調査を試みた。前述のように1実験区に対して63通りの組合せが

あるから、89の全実験区に対して、変数の組合せのすべてについて雌雄両グループの重心間距離や分離効率を比較検討した。その内容はあまりに膨大であり、詳細は省略するが、最適の雌雄分離に際して全繭重と複数の2~4個の繭型変数が選択される場合もみられるので、全繭重と単数の繭型変数の組合せの場合と比較した。その結果、これらの効率の差は僅かであり、一般的には全繭重と繭型変数の中のいずれかとの選択、とくに全繭重と断面積、体積、または長径との組合せで雌雄分離の効率がほぼ十分であることが分かった。しかし、全繭重と短径の組合せでは分離効率がやや劣り、全繭重と長幅率との組合せではさらに劣っている。なお、長幅率は繭型による品種特性を知る上では体積とともに重要な変数であるが(中田(1989))、雌雄分離に関する限りあまり重要な意味をもたぬと思われる。

変数間相関については、品種の差は小さく、変数の組合せに応じて一定の関係がみられる。例えば、4変数の組合せの場合、15例の中、A3-A5-A6-A7という組合せが7例あり、複数の繭型変数の選択によって相当の分離効率の上昇がみられるが、A3-A5-A6の各変数相互で高い相関がみられるにもかかわらず、共通して選択されている。一般に形質間相関が高ければ雌雄分離に関する情報を共有すると思われるから、相関の高い変数相互が選択される機会は少なく、また各繭型変数の♂/♀値はほぼ1に近く、雌雄差もあまりみられないから、3変数が選択された理由は考えにくい。そこで前述のように、全繭重と単数の繭型変数の組合せの場合と比較したところ効率の差はごく僅かであった。すなわち、3変数すべてでなくてもこの中の1個の変数が選択されれば、雌雄分離の効率が大幅に改善されることになる。例えば上述のように、変数選択の頻度の高い断面積は2次元の画像処理による計測誤差が小さいので、この場合繭型変数として採用するのにとくに有効であると思われる。

このように、各実験区で判別分析を行う際に、効率的な判別のための個体数の決定という問題がある。供試個体数が多くなるほど分界点の設定が正確になり、判別効率が改良されるのは当然であるが、これには供試実験区による各形質の雌雄間の差や分散の大小等が関係するので、一概には決定できない。実験区のいくつかで、実際に得られた実験データを用いて、乱数を利用した抽出実験を繰り返したところ、雌雄各30個体では結果がやや不安定であったが、各50個体となると、分離効率の数値や変数の選択パターンもほぼ同様であった。また機械的選別を行うための必要な手順として、できるだけ少ないサンプルで判別式を設定する試み、すなわち同一実験区内の一部のデータで判別式を作成し、これを適用して残りのデータで実際の判別テストを行ったが、やはり個体数が少ない場合、1個の異常値の存在による影響がかなり大きいことが分かった。これらの問題は今後種々のサンプルを用いて適当な条件を設定し、シミュレーションを行って検討する必要があると思われる。実用的には、単純な2群判別でなく適当な分界点を設定して3群の判別を行い、中間のグループは繭を切開して肉眼鑑別を行う方法が有効であろう。

以上のように、二次性徴としての雌雄の計量的形質発現の差に関する生物学的興味と並行して、実用的には繭を切開しないままで重量と形から雌雄鑑別を行う方法の検討を試みた。その結果、このように画像処理技術と判別分析法の組合せ、具体的には全繭重と繭型変数との組合せにより、雌雄分離の効率が著しく向上する場合があることを明らかにした。すなわち、この方法によって、繭を切開したり、肉眼による蛹の雌雄鑑別を行うなどの労力を節減することが可能となり、将来、機械的に雌雄分離を行う設備の開発が考えられる。現在、機械の試作の段階には至っていないが、今回著者が開発した方法、すなわち、重量を直示天秤で、繭型とくに断面積をCCDカメラで感知し、これらとパソコンを連結したシステムで判別分析を行い、判別スコアを計算して試料を2群または3群に分割する方法が、2次元の画像処理を利用した安価な機器構成として有効であり、これによって雌雄分離の一層の効率化が期待できる。

これらの計量的形質の発現には、遺伝的要因と環境的要因が輻輳しており、なお不明の点が多く残されており、この問題を交雑実験により解明しようとするいくつかの試み（蒲生 他（1985）、中田・山村（1990）、武井 他（1990））が続けられているが、同時に、基本的には繭型発現に関する品種間差異を明らかにする必要がある。中田（1989）は、繭の体積と長幅率により品種間差異に関する調査を行ってデンドログラムを作成し、カイコの各品種間の繭型の遺伝的分化や類縁関係の推定を行い、さらに品種特性に関するデータの収集蓄積を続けている。また、繭型形成には幼虫の営繭行動の解析が必要であるが、今後の検討により、これらの計量的形質の遺伝分析の展望が開けることを期待したい。

## 5. 結 論

カイコでは、絹生産のため雑種強勢の利用が有効であり、現在日本の農家で実際に飼育されている、いわゆる実用品種はすべて一代雑種である。そこで実用品種の両親系統である純系の育成が行われているが、大量の  $F_1$  卵の生産のため、蛾の交配以前に雌雄を分けておくことが必要である。そのため各種の雌雄分離の方法が開発されているが、なお精度等の問題が残っている。

一般に雌は雄よりも重いので、繭の重量差により、ある程度の雌雄分離が可能である。しかしながら、この重量の差は飼育条件の劣化により接近したり、また近年育成された品種には雌雄差が十分でないものもみられる。この差が不十分の場合、各種の繭型変数を含む総合的な判別分析が雌雄分離に有効であった。

著者はカメラとパソコンを連結して、カイコの形態的な特徴を正確かつ迅速に計測するシステムを開発しているので、これを繭型計測に応用して前述の判別分析のためのデータを得た。繭型に関する変数として、繭の長径、短径、断面積、体積及び長幅率等について検討したが、これらの変数の個々の雌雄差は必ずしも大きくないが、これらを繭重と組み合わせることによって、雌雄の鑑別効率が著しく改良された。これは繭を切開して蛹を取り出し、その外部形態を観察して分離するという従来の方法と異なり、繭のまま雌雄を分ける試みであり、以上の結果を利用して機械化に成功すれば、将来実際に相当の労力節減に役立てることが期待できる。

例えばある実用原種では、当初繭重のみで雌雄分離を行うと64%の効率であったが、繭型変数の中の体積を加えることによって分離効率は94%となり、30%という大幅の改良がみられた。この事実、これらの繭型変数が判別分析による雌雄鑑別の際に、補助的に重要な役割を果たしており、実際に雌雄分離を必要とする実用原種でとくに効率がよいことを示唆している。

## 謝 辞

本研究に際し、多くの貴重なコメントをいただいた査読者の方々に謝意を表す。また、供試材料品種を分譲していただいた元農林水産省蚕糸・昆虫農業技術研究所遺伝育種部、青木秀夫室長に厚くお礼申し上げる。また、長期間にわたる飼育実験に協力いただいた北海道大学農学部付属農場養蚕部、菊池邦夫技官及び斉藤 寛技官に深謝する。なお、本研究の一部は文部省科学研究費（一般研究 C01560060）及び統計数理研究所共同研究（個別研究 63-共研-75 及び 1-共研-76）によって行った。

## 参 考 文 献

- 福田衷二 (1914). 繭の形態上に於ける雌雄判別法, 大日本蚕糸会報, **23**(273), 21-23.
- 蒲生卓磨, 斉藤滋隆, 大塚雍雄, 広部達道, 田島弥太郎 (1985). 地理的蚕品種の二面交雑による組合せ能力の遺伝分析 (2) 繭形と繭の大きさ, 蚕糸試験場集報, **126**, 121-135.
- 橋本春雄 (1948). 蚕のえきす線突然変異限性虎蚕, 日本蚕糸学雑誌, **22**(3=4), 62-64.
- 服部達吉, 紀井栄一 (1937). 繭の表面積, 体積等の1測定法に就て, 日本蚕糸学雑誌, **8**(3), 204-219.
- 平石宇三郎 (1912). 蚕の一代雑種における繭型に就て, 大日本蚕糸会報, **21**(251), 22-28.
- 石渡繁胤 (1904). 蚕児の雌雄鑑別, 蚕業新報, **12**(134), 6-7.
- 岩野関寿郎, 西尾秋雄 (1966). 蚕蛹の雌雄分離機の実用化に関する試験, 徳島県蚕業試験場蚕糸技術, **13**, 74-81.
- 加藤和一郎 (1915). 蚕児の雌雄鑑別の発見とその利用に就て, 蚕業新報, **23**(273), 26-32.
- 勝木喜重 (1918). 繭の重量により蛾の雌雄を正確に分け得るか, 蚕業の世界, **2**(8), 2-4.
- 勝木喜重, 長沢千丈 (1917). 一代雑種における繭の形に就て, 大日本蚕糸会報, **26**(308), 8-15.
- 木村敬助 (1977). 限性黄繭品種育成の現状と問題点, 蚕糸科学と技術, **16**(8), 56-57.
- 木村敬助, 原田忠次, 青木秀夫 (1971). 蚕の黄血遺伝子のW転座に関する研究, 育種学雑誌, **21**(4), 199-203.
- 小針喜三郎 (1942). 伴性油蚕性による蚕児の雌雄鑑別, 片倉蚕業試験所報告, **3**.
- 小針喜三郎, 小岩井桂三 (1930). 家蚕繭質の相関関係に就いて, 応用動物学雑誌, **2**(3), 157-164.
- 桑名寿一 (1936). 家蚕体重の観察—Samplingに関する二, 三の問題, 動物学雑誌, **48**(4), 182-183.
- 前田勇人 (1987). 家蚕繭形質の判別分析による雌雄分離法の開発, 特に数種の特性品種とそのF<sub>1</sub>について, 北海道大学農学部卒業論文.
- 見波定治 (1921). 家蚕繭の相関現象に関する研究, 蚕業新報, **29**(338), 442-447.
- 三宅一郎, 山本嘉一郎 (1983). 『SPSS統計パッケージ I 基礎編』, 東洋経済新報社, 東京.
- 三宅一郎, 中野嘉弘, 水野欽司, 山本嘉一郎 (1983). 『SPSS統計パッケージ II 解析編』, 東洋経済新報社, 東京.
- 都島美行, 西出照雄 (1990). 視覚認識システム用画像処理手法の検討, 日本蚕糸学会第60回学術講演会要旨集, p. 14.
- Murakami, A. and Ohtsuki Y. (1989). Genetic studies on tropical races of silkworm (*Bombyx mori*) with special reference to cross breeding strategy between tropical and temperate races 1. Genetic nature of the tropical multivoltine strain Cambodia, *Japan Agricultural Research Quarterly*, **23**(1), 37-45.
- 室賀兵左衛門 (1941). 家蚕における孵化の早晩と雌雄との関係, 応用動物学雑誌, **31**(1), 39-48.
- Nakada, T. (1975). Untersuchungen über die statistische Vererbung des Kokongewichts von Seidenraupen, *Bombyx mori* L, *Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University*, **58**, 101-201.
- Nakada, T. (1989). On the measurement of cocoon shape by use of image processing method, with an application to the sex discrimination of silkworm, *Bombyx mori* L, *Proceedings of the 6th International Congress of the Society for the Advancement of Breeding Researches in Asia and Oceania*, 957-960.
- 中田 徹 (1989). カイコの繭型の分類とその品種分化について, 日本蚕糸学会第59回学術講演会要旨集, p. 24.
- 中田 徹, 山村智通 (1990). カイコの繭型に関係する遺伝的要因について, 日本蚕糸学会第60回学術講演会要旨集, p. 54.
- 西沢正一 (1965). 繭重による雌雄の分離法, 蚕糸科学と技術, **4**(3), 68-71.
- 桜井 基 (1924). 蚕繭の性質に就て (第1報) 蚕繭の容積と重量, 繭層量, 糸長, 糸量及び織度との関係, 衣笠蚕報, **216**, 1-4.
- 蚕業試験場 (1917). 蚕の一代雑種の研究, 蚕業試験場報告, **2**(2), 95-222.
- 瀬尾康久, 細川 明, 永田昌男, 森嶋 博, 宮沢津多登 (1986). 試作した繭雌雄分離のための重量選別機の選別精度, 農業機械学会誌, **48**, 257-260.
- 四方正義 (1964). 繭重による能率的な雌雄分離, 蚕糸科学と技術, **3**(11), 58-62.
- 田島弥太郎 (1938). X線によって生じた家蚕の新形質セーブル斑紋蚕, 遺伝学雑誌, **14**, 117-128.
- 田島弥太郎, 原田忠次, 太田 登 (1951). 蚕卵の色により雌雄を鑑別する方法の研究, 育種学雑誌, **1**(1),

47-50.

武井隆三, 中本 浩, 中垣雅雄, 小平律子, 長島栄一 (1990). カイコにおける繭型の遺伝分析, 日本蚕糸学会第 60 回学術講演会要旨集, p. 53.

外山亀太郎 (1909). 『蚕種論』, 丸山舎, 東京.

月田藤三郎 (1896). 蚕兒及び繭に於ける雌雄の鑑別法に就て, 大日本蚕糸会報, **6**(56), 3-13.

横田長太郎 (1898). 繭の雌雄鑑別に就て, 大日本蚕糸会報, **7**(68), 19-23.

吉武成美 (1988). 『家蚕の起源と分化に関する研究序説』, 東京大学農学部.

Discriminant Analysis Related to Sex Difference of Cocoon Shape  
in the Silkworm, *Bombyx mori* L

Tohru Nakada and Hayato Maeda\*

(Faculty of Agriculture, Hokkaido University)

Masakatsu Murakami

(The Institute of Statistical Mathematics)

For effective silk production, the utilization of hybrid vigor is commonly applied to the silkworm, and  $F_1$  larvae have been actually reared in all of farmers in Japan. Many pure strains have been bred for hybridization and it is necessary to discriminate sex by each strain before crossing of moths for a large quantity of  $F_1$  egg production. Then, some kinds of effective methods of sex discrimination have been developed, but they are still imperfect at present.

In general the female cocoon is heavier than that of the male, so it is available to separate sex according to the difference of cocoon weight, if it is enough to be distinguishable. But the difference is sometimes not distinctly shown when silkworms were kept on rearing in the inferior condition, and the same phenomenon is often observed in some newly bred pure strains. In such cases, it is often effective to discriminate sex by the method of discriminant analysis including some cocoon shape variables.

The authors have recently developed an image processing system linked a peculiar camera with a personal computer, for an accurate and rapid measurement of some morphological traits of silkworm, and we applied it to cocoon shape measurement. Though the sex difference of such variables as long and short diameter, cross-sectional area, volume and short/length ratio is not always clear and significant, a remarkable improvement of discrimination has been recognized in combination with cocoon weight variable. This way depends on the weight and shape of cocoon, without observation of morphological traits of pupae and this will save us labor to cut cocoon and to examine pupae.

For example, in case of a commercial strain, the improvement reached almost 30%. At first the efficiency was only 64% by cocoon weight only, and it proceeded to 94% finally by adding the shape variable (volume). This fact suggests that those cocoon shape variables are playing an important role as complementary ones for sex discrimination by discriminant analysis and it can be more effectively applied to the pure strains which are actually needed for sex discrimination.

---

\* Now at Beauty Culture Laboratory, Kanebo Ltd.

Key words: Silkworm, cocoon shape, cocoon weight, sex difference.