

画像処理による愛知県産ウラゴマダラシジミの斑紋変異の定量解析

大曾根 剛¹⁾

Quantitative analysis of spots variation of *Artopoetes pryeri* (Lepidoptera, Lycaenidae)
in Aichi Prefecture by image processing

Tsuyoshi Ozone¹⁾

(Abstract)

The author attempted to measure the spots variation of *Artopoetes pryeri* (Murray, 1873) using image processing technology and to perform a quantitative analysis of this variation using a new method. Statistical analysis of the area ratio data for each locality revealed that the distribution of *Artopoetes pryeri* in Aichi Prefecture was organized into four groups based on the results of regression lines and standard deviations, and that normal form (standard type) and three transitional type from normal form (standard type) to black form (blackened type) were distributed. This complex distribution pattern was thought to be due to past distribution dynamics.

はじめに

ウラゴマダラシジミ *Artopoetes pryeri* (Murray, 1873) は鱗翅目 (チョウ目) シジミチョウ科ミドリシジミ亜科に属する中型の森林性のシジミチョウで、翅裏面は明るい白色で亜外縁に沿って2列の黒色点斑が並ぶ。一方、翅表面は全体が主に黒色で、前翅には翅頂部に僅かな白色斑を伴うが、後翅には白色斑がなく、前後翅ともに中央部に青色斑が広がる斑紋を持つ。愛知県内での本種の分布は、かつては尾張地方の洪積平野部や島嶼、渥美半島、奥三河を除き広く生息していたが (高橋昭ほか, 1991)、近年は急速な生息環境の悪化に伴い、局地的となっている。

本種は、翅裏面には顕著な地理的変異は見られないが、翅表面は日本列島に普遍的に分布する青色斑がやや拡大した正常型 (標準型) に加え、本州と九州の中

部山岳部と四国・隠岐では青色斑が縮小した黒色型 (黒化型) が分布する (白水, 2006)。愛知県内の本種の斑紋変異は主に正常型 (標準型) が分布するが、西三河地方の一部で鈴木・中野 (1987) により黒色型 (黒化型) の存在が報告された。以後、白水 (2006) では“静岡県西部～愛知県東部においては同一発生地に正常型と黒化型 (中間型はない) が混産する”とか、久保・横山 (2013) では“愛知県では黒化型が出現するが、基本的には標準タイプ”のような部分的かつ概要的な記述だけで、詳細かつ的確に表現されていなかった。そこで今回、主に愛知県産の個体を用いて翅表面の斑紋を画像処理で計測し、データを統計的に定量解析して斑紋変異の検証を試みた。

材料と方法

1) 愛知県東海市名和町前郷 63-16. 63-16 Zengo, Nawa, Tokai, Aichi 476-0002, Japan. E-mail: tozonet_1171685@ma.medias.ne.jp

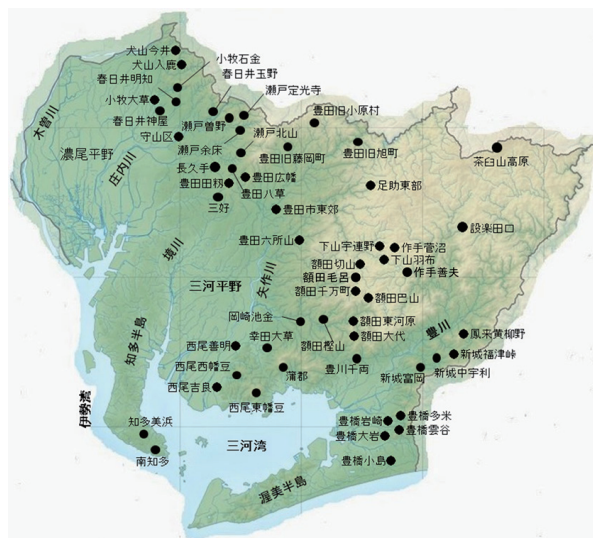
原稿受付 2022年9月21日. Manuscript received Sep. 21, 2022.

原稿受理 2023年2月1日. Manuscript accepted Feb. 1, 2023.

キーワード: 画像処理, 定量解析, 斑紋変異, 正常型 (標準型), 黒色型 (黒化型).

Key words: image processing technology, quantitative analysis, spots variation, normal form (standard type), black from (blackened type).

本種の翅表面は黒色地をベースに青色斑と小さな白色斑だけで構成され、青色斑の大きさが広い場合は正常型（標準型）、狭い場合は黒色型（黒化型）と一般的に表現される。青色斑の大きさは地域や個体差によって少しずつ異なって連続的に発現するためアナログ変異と解釈できるが、白色斑は青色斑の外側に伴って出現するが、青色斑の大きさは差が少なく、この白色斑が出現する個体も出現しない個体も存在するので、これはデジタル変異と考えられる。また、同一産地内でも各翅や青色斑の大きさ等の個体差のばらつき、さらには翅に奇形等の物理的な変形を伴った個体もあって、評価に当たってはそのような弊害を吸収できる方法を考慮しなければならない。また、このよう



面積の画像計測は画像解析フリーソフト leafareacounter plus3 (Vector 社製) を使用し、デジタル画像の測定対象部を手動でトレースし、その囲まれた部分の画素数 (pixel) をカウントして面積に変換した。

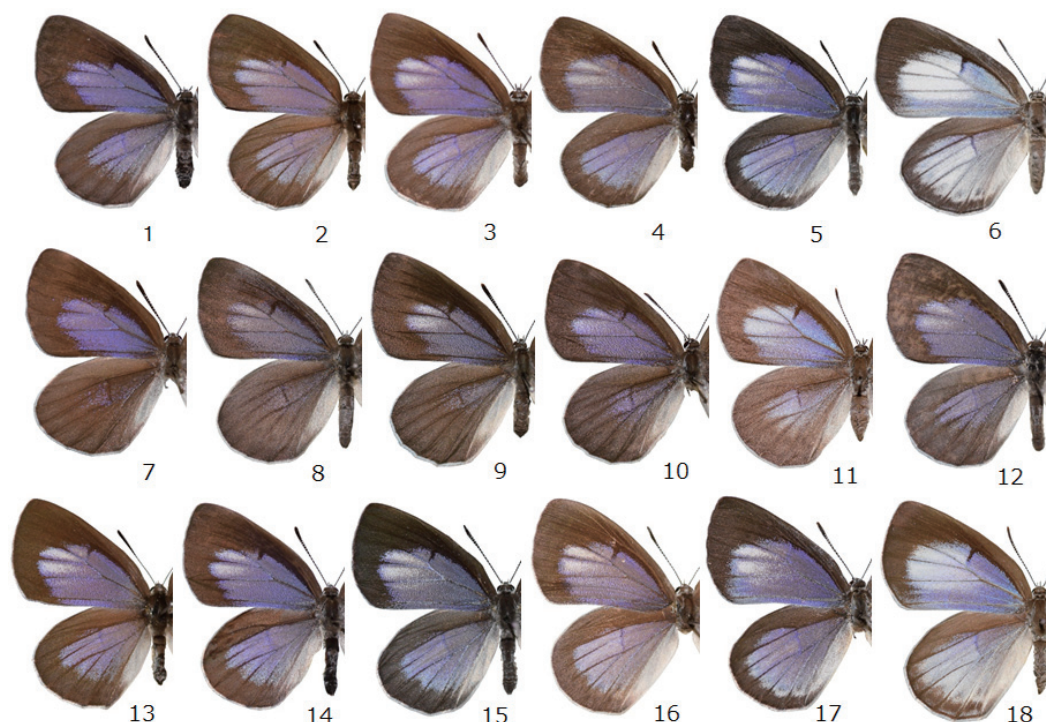
第1表. 調査標本とその内容.

省略地名は本文に使用した産地名の略称. n は全サンプル数. leg. は成虫の野外採集品, Bred. は採集した♀より産ませた卵と野外より採集した卵と幼虫を飼育したものを示す.

Table 1. Survey sample and its contents.

Abbreviated place names are locality names used in the text. “n” is the total number of samples. “Leg.” indicates an adult collected in the field, and “Bred.” indicates eggs laid from collected adult ♀ and eggs and larvae collected from the field and bred.

略称地名	産地名	n	野外		飼育		Leg. 採集	Bred. 母蝶	卵	幼虫	Collection(標本)No.	生息環境	備考
			♂	♀	♂	♀							
茶臼山高原	北設楽郡豊根村茶臼山高原	9	1		2	6	○		○	○	0092AC0101001~009	高原性高層湿原	1953.6.15 安藤尚採
設楽田口	北設楽郡設楽町田口	1		1			○				TMNH田口001	?	
豊橋大岩	豊橋市大岩町	7			7						KS大岩001~007	溜池(低層湿原)	
豊橋雲谷	豊橋市雲谷町	36		1	7	28	○	○			0092AC0201001~036	溜池(低層湿原)	
		7	7				○				TMNH雲谷001~007		
豊橋小島	豊橋市小島町	46	2	1	18	25	○	○			0092AC0203001~046	休耕田(谷戸)	2♂安藤採, 他西村Bred.
豊橋岩崎A	豊橋市岩崎町A	28	2		16	10	○				TMNH岩崎A001~028	低層湿原	
豊橋岩崎B	豊橋市岩崎町B	74	4		45	25	○	○			0092AC0202001~074	溜池(低層湿原)	
豊橋岩崎C	豊橋市岩崎町C	18	16	2			○				KS岩崎C001~018	溜池(低層湿原)	
豊橋多米	豊橋市多米町	10			6	4					KS多米001~010	溜池(低層湿原)	
新城富岡	新城市富岡	14	6	1	4	3	○				KS富岡001~014	溜池(低層湿原)	
新城福津峠	旧南設楽郡鳳来町福津峠	4			3	1			○		0092AC0401001~004	台地上	
新城中字利	新城市中字利	11	1		2	8	○	○	○		0092AC0301001~011	溜池(低層湿原)	
鳳来黄柳野	新城市(旧南設楽郡鳳来町)黄柳野	1	1				○				0092AC0402001	溜池(低層湿原)	
作手菅沼	旧南設楽郡作手村菅沼	5			2	3			○		0092AC0501001~005	中層湿原	
作手善夫	旧南設楽郡作手村善夫	5	1		1	3	○		○	○	0092AC0502001~005	中層湿原	
下山羽布	旧東加茂郡下山村羽布	2			2				○		0092AC0601001~002	中層湿原	
下山宇連野	旧東加茂郡下山村宇連野	5			3	2			○		0092AC0602001~005	溪流沿い	
額田巴山	旧額田郡額田町巴山	3			1	2			○		0092AC0701001~003	中層湿原	
額田千万町	旧額田郡額田町千万町	7			5	2			○		0092AC0702001~007	中層湿原	
額田毛呂	旧額田郡額田町毛呂	9			7	2			○		0092AC0703001~009	中層湿原	
額田切山	旧額田郡額田町切山	3			1	2			○		0092AC0704001~003	中層湿原	
額田樫山	旧額田郡額田町樫山	77	8		28	41	○	○			0092AC0706001~077	休耕田	
額田東河原	旧額田郡額田町東河原	45			26	19		○			0092AC0707001~045	休耕田	
額田大代	旧額田郡額田町大代	6	3		1	2	○	○			0092AC0708001~006	休耕田	
岡崎池金	岡崎市池金町	34			9	25			○	○	0092AC0705001~034	低層湿原	
豊川千両	豊川市千両町	12	6	3		3	○	○	○		0092AC0801001~012	休耕田	
西尾善明	西尾市善明町	5	2		1	2	○		○		0092AC0901001~005	休耕田	
西尾吉良	旧幡豆郡吉良町	67	10		34	23	○	○			0092AC1001001~067	谷戸	
西尾西幡豆	旧幡豆郡幡豆町西幡豆	63	4	4	23	32	○	○			0092AC1101001~063	谷戸	
西尾東幡豆	西尾市(旧幡豆郡幡豆町)東幡豆町	35			20	15			○		0092AC1102001~035	谷戸	
蒲郡	蒲郡市	4	1		3		○		○		0092AC1201001~004	谷戸	
幸田	額田郡幸田町	56			24	32			○		0092AC1302001~056	低層湿原	
豊田八草	旧豊田市八草	14			7	7			○		0092AC1401001~014	溜池(低層湿原)	
豊田広幡	旧豊田市広幡町	2				2			○		0092AC1402001~002	溜池(低層湿原)	
豊田田初	旧豊田市田初町	17	4	2	8	3	○	○	○		0092AC1403001~017	休耕田	
豊田市東郊	豊田市	71			27	44			○		0092AC1409001~071	低層湿原	
豊田六所山	旧豊田市坂上町六所山	5		1		4			○	○	0092AC1410001~005	溪流沿い	
豊田旧藤岡町	旧西加茂郡藤岡町白川	5			2	3		○			0092AC1511001~005	溪流沿い	
豊田旧小原村	旧西加茂郡小原村北	4			2	2			○		0092AC1612001~004	休耕田	
足助東部	旧東加茂郡足助町	21			12	9			○	○	0092AC1701~1721	休耕田	
		2			1	1					TMNH足助001~002		西村正賢Bred.
		1			1				○		0092AC1814001	溪流沿い	
豊田旧旭町	豊田市旭小渡	2			1	1					TMNH旭町001~002	溜池(低層湿原)	1999年 中島悦雄Bred.
三好	みよし市黒笹	1	1				○				0092AC1901001	休耕田	
長久手	旧愛知郡長久手町熊張	9	7	1		1	○	○			0092AC2001001~009	休耕田	
		2				2	○				TMNH長久手001~002		安藤尚採集(2ヶ所)
瀬戸北山	瀬戸市北山口	1				1			○		0092AC2101001	休耕田	
瀬戸曾野	瀬戸市曾野町	18			11	7			○		0092AC2102001~018	休耕田	
瀬戸余床	瀬戸市余床町	2			2				○		0092AC2103001~002	休耕田	
瀬戸定光寺	瀬戸市定光寺町半ノ木	1	1				○				TMNH定光寺001	休耕田	1962年 滝田康一採集
		142			69	73			○	○	0092AC2201001~142	休耕田	
守山区	名古屋守山区吉根	3	3				○				TMNH守山区001~003		①2♂下志段味 1977.5.28 安藤採 ②1♂吉根 1985 阿江茂採
春日井玉野	春日井市玉野町	10			7	3			○		0092AC2301001~010	休耕田	
春日井神屋	春日井市神屋町	2			1	1					TMNH神屋001~002		
春日井明知	春日井市明知町	1				1					TMNH明知001		
小牧大草	小牧市大草	11	1	1	6	3	○		○		0092AC2401001~011	休耕田	
小牧石金	小牧市石金	3		1	1	1	○				TMNH石金001~003		
犬山入鹿	犬山市入鹿	4			2	2					0092AC2501001~004	休耕田	
犬山今井	犬山市今井	5			2	3					TMNH今井001~005		安藤尚採集
知多美浜	知多郡美浜町	110	1	1	48	60	○	○			0092AC2601001~110	休耕田(谷戸)	
南知多町A	知多郡南知多町A	106	3	1	54	48	○	○	○		0092AC2701001~106	谷戸	
南知多町B	知多郡南知多町B	17	1		10	6	○		○		0092AC2702001~017	谷戸	
南知多町C	知多郡南知多町C	67		2	33	32		○	○		0092AC2703001~067	谷戸	
東京瑞穂	東京都西多摩郡瑞穂町	6				6		○			0092TK0001001~006		
長野上田	長野県上田市	17	14	3			○				0092NN2703001~017	河岸段丘, 溪谷	
静岡湖西市	静岡県湖西市	9	5	3		1	○	○			0092SO2703001~009	谷戸	
岐阜養老	岐阜県養老郡養老町	5			3	2			○		0092GF2703001~005	尾根	
三重阿児	旧三重県志摩郡阿児町	9			6	3		○			0092ME2703001~009		
岡山玉野	岡山県玉野市八浜町(金甲山)	17			10	7		○			0092OK2703001~017		



第3図. 愛知県産の各レベルの代表個体.

1, FARL3.5 (HARL3.7) 額田東河原 ♂; 2, FARL4.0 (HARL4.2) 豊田八草 ♂; 3, FARL4.5 (HARL4.7) 守山区 ♂; 4, FARL5.0 (HARL5.1) 西尾西幡豆 ♂; 5, FARL5.5 (HARL5.6) 知多美浜 ♂; 6, FARL5.9 (HARL6.3) 南知多 C ♀; 7, HARL1.2 (FARL3.7) 岡崎池金 ♂; 8, HARL1.5 (FARL3.6) 豊田市東郊 ♂; 9, HARL2.0 (FARL3.4) 額田檜山 ♂; 10, HARL2.5 (FARL3.8) 岡崎池金 ♂; 11, HARL3.0 (FARL4.3) 作手菅沼 ♀; 12, HARL3.5 (FARL4.5) 下山宇連野 ♂; 13, HARL4.0 (FARL4.5) 瀬戸曽野 ♂; 14, HARL4.5 (FARL4.0) 額田東河原 ♂; 15, HARL5.0 (FARL4.5) 足助東部 ♂; 16, HARL5.5 (FARL4.5) 春日井玉野 ♂; 17, HARL6.0 (FARL5.1) 南知多 A ♂; 18, HARL7.5 (FARL6.4) 幸田 ♀.

Fig. 3. Representative individuals at each level in Aichi prefecture.

1, FARL3.5 (HARL3.7) Nukata-E.Kawara ♂; 2, FARL4.0 (HARL4.2) Toyota-Yakusa ♂; 3, FARL4.5 (HARL4.7) Moriyama-Dis. ♂; 4, FARL5.0 (HARL5.1) Nishio-W.Hazu ♂; 5, FARL5.5 (HARL5.6) Chita-Mihama ♂; 6, FARL5.9 (HARL6.3) S.ChitaC ♀; 7, HARL1.2 (FARL3.7) Okazaki-Ikegane ♂; 8, HARL1.5 (FARL3.6) Toyota City-E.Suburbs ♂; 9, HARL2.0 (FARL3.4) Nukata-Kashiyama ♂; 10, HARL2.5 (FARL3.8) Okazaki-Ikegane ♂; 11, HARL3.0 (FARL4.3) Tsukude-Suganuka ♀; 12, HARL3.5 (FARL4.5) Shimoyama-Ureno ♂; 13, HARL4.0 (FARL4.5) Seto-Sono ♂; 14, HARL4.5 (FARL4.0) Nukata-E. Kawara ♂; 15, HARL5.0 (FARL4.5) Asuke-E.part ♂; 16, HARL5.5 (FARL4.5) Kasugai-Tamano ♂; 17, HARL6.0 (FARL5.1) S.ChitaA ♂; 18, HARL7.5. (FARL6.4) Kota ♀.

なお、測定対象の翅表の青白色斑（青色斑）には鱗粉の密度が低くなる部分が随所に見られる個体があり、黒化した個体は翅全体に青色鱗粉が広く薄く一様に分布する場合が多く、トレースが不安定になる箇所があるので、隣り合う同色の鱗粉が20個以上の規則的に整列した集合体を“斑紋”として定義して測定をおこなった。また、各翅表の青白色斑は黒色の翅脈によって分断されており、細い黒色の翅脈で分断された個々の斑紋の面積を測定した合計は、支脈を考慮せずに計測した場合の面積とはほとんど差がなかったため、全体を1つの斑紋として計測した。各翅全体の測定箇所は、前縁～縁毛基部の外縁～後縁とした。さらに青白色斑に発現する小さな黒色の斑紋は完全に囲まれてい

る場合でも、その面積を減算しなかった。

評価項目は前翅の青白色斑と後翅の青色斑の面積比とし、下記のように定義した。

前翅 (FARL) = 前翅の青白色斑の面積 / 前翅の面積 × 10

後翅 (HARL) = 後翅の青色斑の面積 / 後翅の面積 × 10

※小数第2位を四捨五入

なお、計測にあたっては野外品と飼育品の個体、♂♀の性差で青白色斑（青色斑）の出現比率に差があることが考えられたが、飼育品に比べ野外品のサンプル数が極端に少なく、特に斑紋変異の大きい産地では極端な変異の偏りを持つ集団が認められたこともあっ

て、種々の検定等が適用でなかったため、今回はこの問題については差がないという前提で分析作業を進めた。

結 果

調査の結果、愛知県産の本種は FARL3 ～ 6 レベル (FARL3.4 ～ 6.4), HARL1 ～ 7 レベル (HARL1.2 ～ 7.5) の範囲で出現していた (第 3 図)。

なお、外観上の青白色斑 (青色斑) の大きさをこれらの知見から数値で判断すると、正常型 (標準型) は FARL4 と 5 レベル, HARL4 ～ 6 レベルの個体, 黒色型 (黒化型) は FARL3 と 4 レベル, HARL1 ～ 3 レベルの個体と考えられた。

また、県内産の各産地のヒストグラム (変異分布) では前翅はすべて一山型で (第 4 図), 後翅は大部分が一山型で二山型が少数存在した (第 5 図)。さらに県内産の一山型は正常型 (標準型) のみと、正常型 (標準型) と黒色型 (黒化型) の連続的な複合体の個体群であり、二山型は正常型 (標準型) と黒色型 (黒化型) にそれぞれ分離した個体群で存在していた。また、県東部には一山型と二山型ともに存在するので、前述した白水 (2006) の“静岡県西部～愛知県東部においては同一発生地には正常型と黒化型 (中間型はない) が混産する”とは異なる結果となった。

各産地の変異 (巾) の大きさは標準偏差 (σ) であらわされ、その数値が大きいほど個体変異が大きく、同一産地内の青白斑の広がりには差を持った個体が多くなる。第 6 図に各産地の前翅と後翅の標準偏差の分散図を示す。サンプル数が少ない産地を除き、前翅は後翅よりも標準偏差が極端に小さく顕著な差は見られなかったが、後翅では HARL4 ～ 6 レベルの正常型 (標準型) の個体群の産地では ≤ 0.4 , HARL1 ～ 3 レベルの黒色型 (黒化型) の個体を含む正常型 (標準型) の産地では $0.4 <$ となり差が見られた。

ただし、以上の内容だけでは各産地の斑紋変異の発現性や産地間の関係性が判断しにくいことから、各産地の全体的な特徴が統計的に上手く整理・表現できないかさらに検討した。その結果、特に変異の大きい後翅の面積比のデータでは各産地の FARL に対する HARL の関係を調べたところ、多くの産地で正の相関を持つことが確認された。このことから、各産地の翅表面の青白色斑 (青色斑) の発現性質は基本的には全てこの回帰直線に基づいて発現することが考えられたので、これを比較することにより産地間の関係性を予

測した (第 7 図)。

なお、回帰直線の計算は各産地の 95% の信頼区間内のデータで算出し、サンプル数が少ない産地 (2 個以下) と変異の小さい (標準偏差の値が小さい) 産地、回帰直線の相関が 0 もしくは負 (マイナス) の相関になった産地は除いた。また、サンプル数が少ない場合の救済策として近隣産地でヒストグラムが同傾向を持つ場合に限りデータを包括した (小牧: 小牧大草と小牧石金, 犬山: 犬山入鹿と犬山今井)。

以上、得られたデータを一元化して整理し個体群が層別できるかを検討したところ、回帰直線の傾き (a) と切片 (b) の各 2 ヶ所で数値の gap の存在が確認され、それに前述の後翅の変異巾の大きさを示す標準偏差 (σ) の特性値 0.4 を加えた因子の組合せで全データを見直したところ、県内の産地は以下の 4 グループに整理された。なお、判断に必要な a と b のしきい値の設定は、各 gap の中間値とした (第 2 表)。

● I グループ

$$1.56 < a, b < -2.35, 0.4 < \sigma$$

県内産の黒色型 (黒化型) に該当する個体群。

● II グループ

$$0.73 < a < 1.56, -2.35 < b < 1.77, 0.4 < \sigma$$

I と IV グループの中間で、青白色斑の発現は I グループに近く、産地内の変異 (巾) が大きい。

● III グループ

$$0.73 < a < 1.56, -2.35 < b < 1.77, \sigma \leq 0.4$$

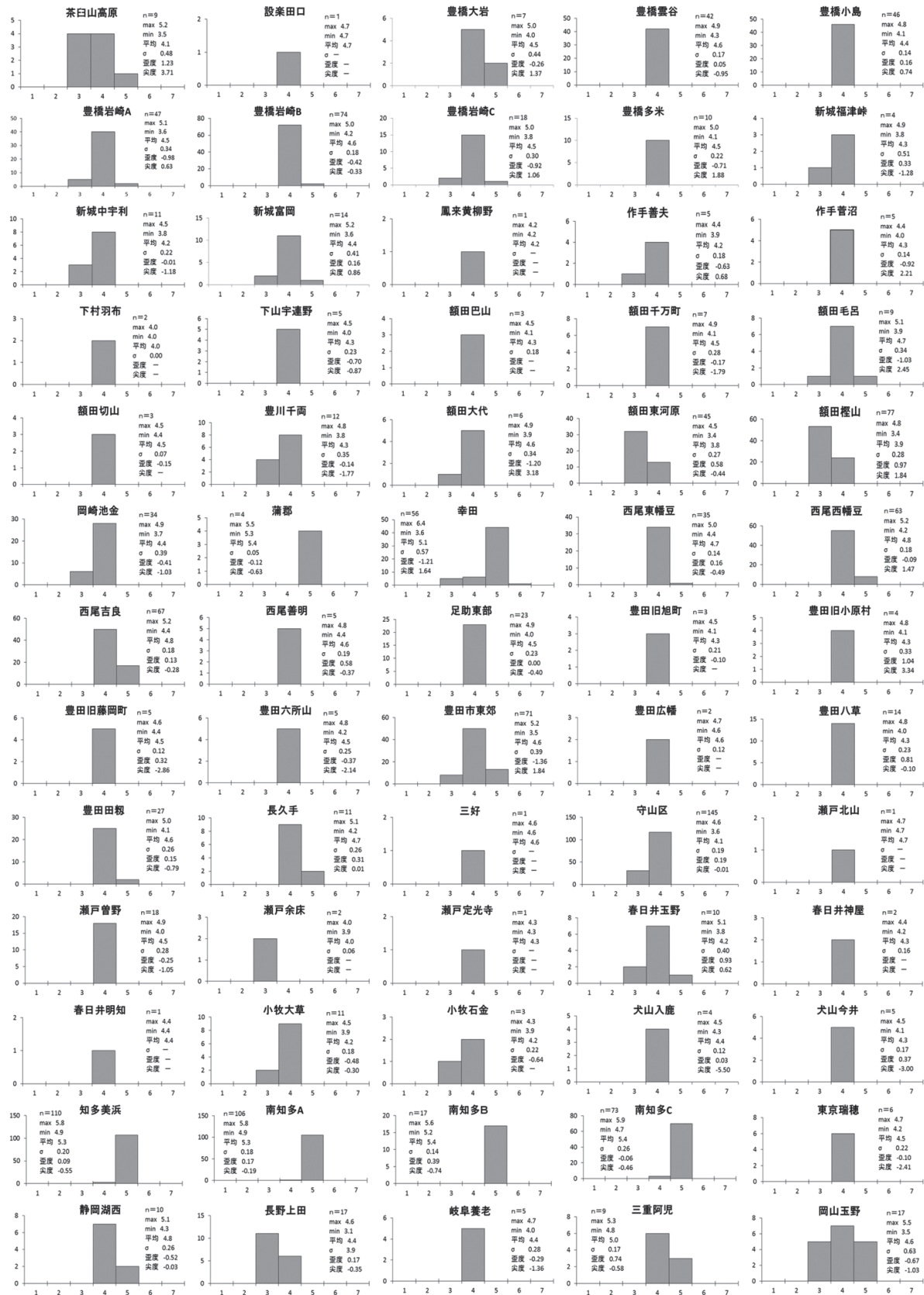
I と IV グループの中間で、青白色斑の発現は IV グループに近く、産地内の変異 (巾) が小さい。

● IV グループ

$$a < 0.73, 1.77 < b, \sigma \leq 0.4$$

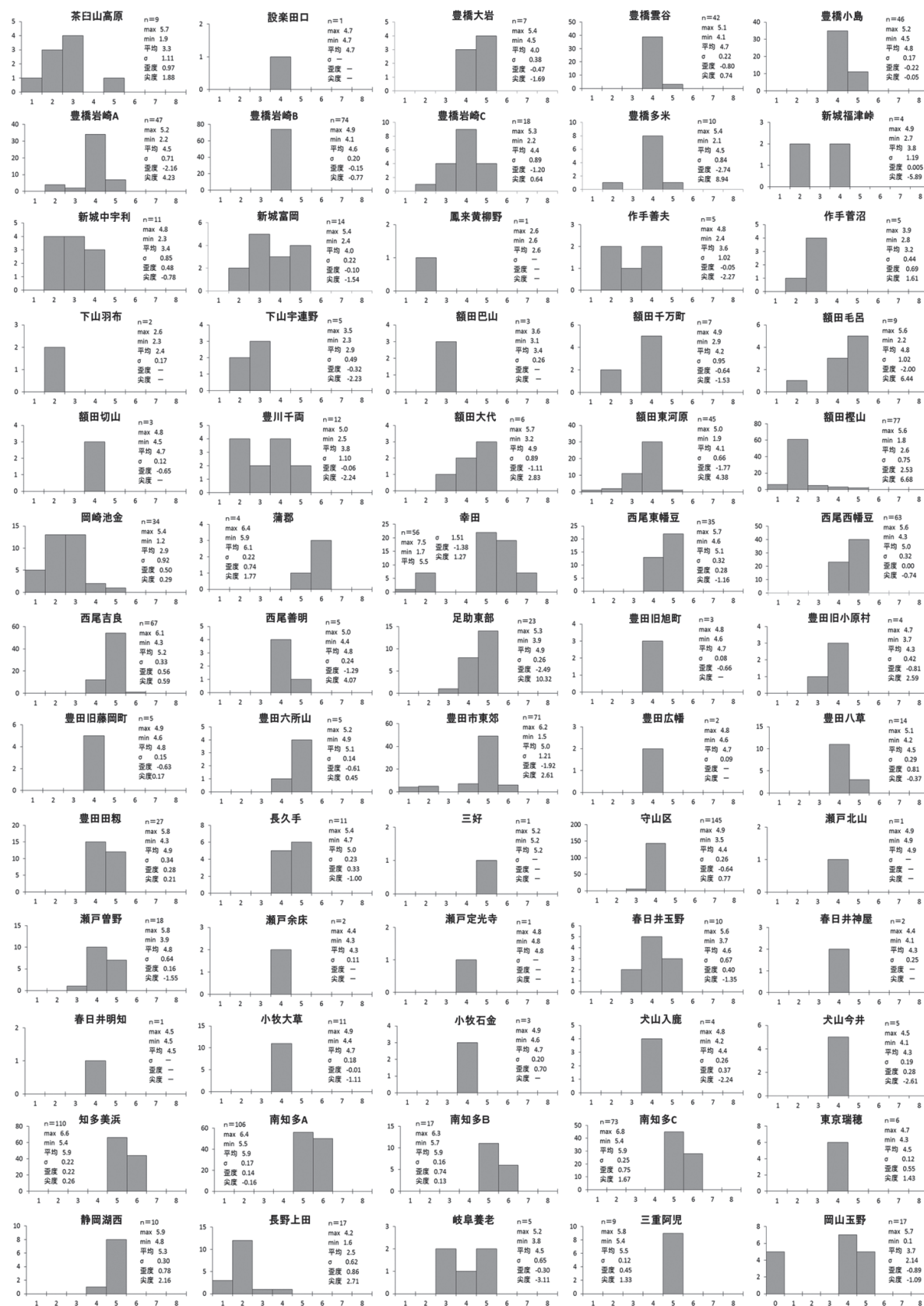
県内産の正常型 (標準型) に該当する個体群。

第 8 図では I グループは最も右下寄りに、IV グループは最も左上寄り、II グループは I グループ、III グループは IV グループ寄りの中間に位置し、各グループや産地間の関係性を表現できた。特に IV グループはサンプル数が多いにもかかわらず標準偏差が小さかったので、正の相関の回帰直線や P 値 (有意確率) が得られず、回帰直線の R^2 (寄与率) が低い産地が少なくなかったが、これはむしろこのグループの特徴と考えられた。また、同様にサンプル数が少ない産地や回帰直線が得られなかった産地 (第 2 表の最左欄を着色) の場合は近隣の産地や分布圏、発現レベル等を考慮し該当グループを決定したので、今後のサンプルの n 増しの結果ではグループが変わる可能性はある。

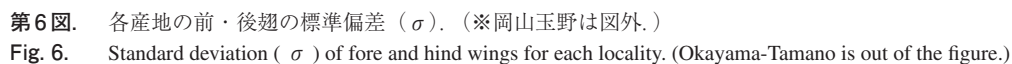


第4図. 各産地の前翅のヒストグラム（面積比分布）.
横軸：FARL レベル（前翅面積比レベル），縦軸：サンプル数.

Fig. 4. Histogram (area ratio distribution) of forewings in each locality.
Horizontal axis: FARL level (forewing area ratio level), vertical axis: number of samples.

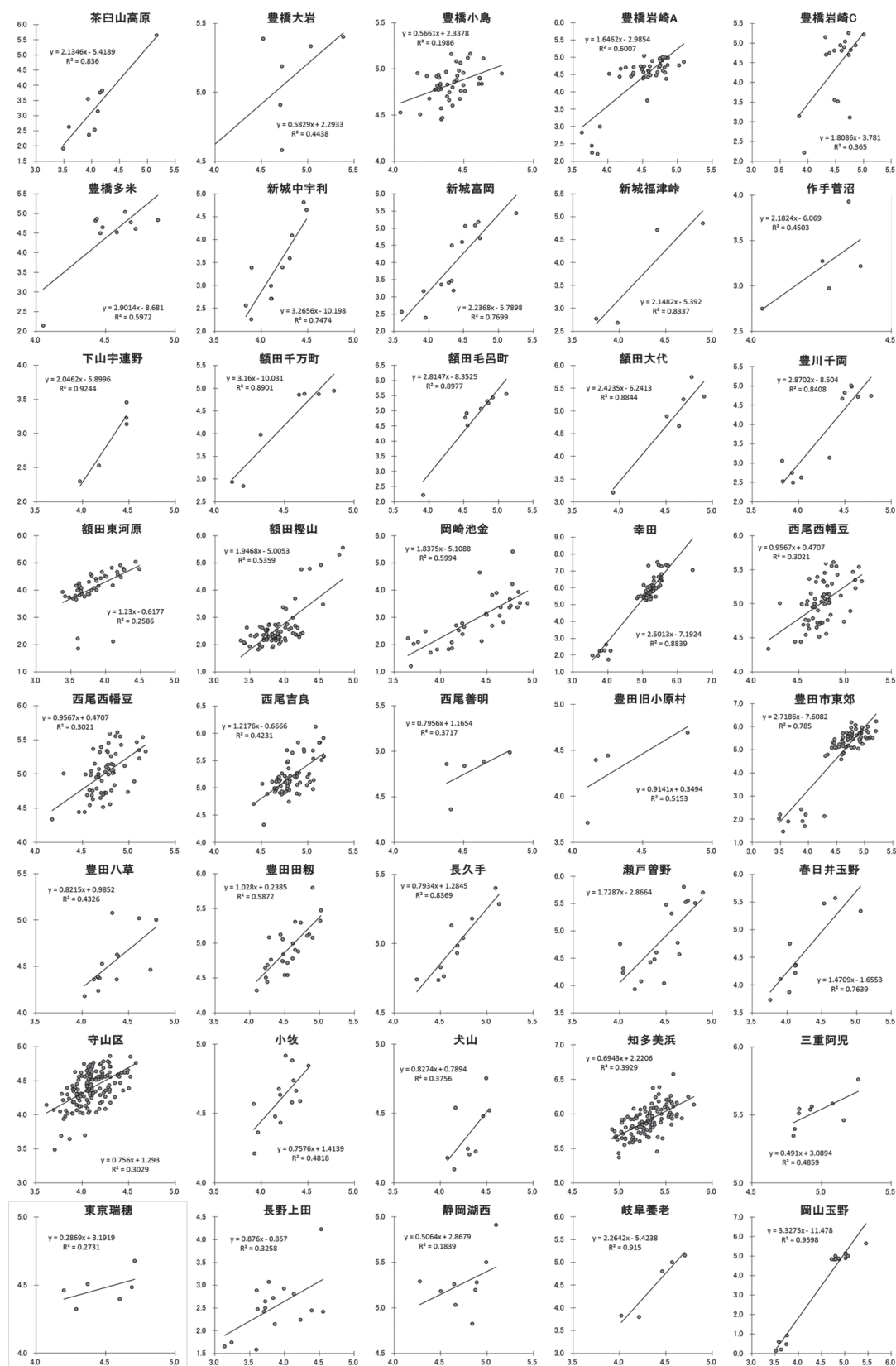


第5図. 各産地の後翅のヒストグラム（面積比分布）.
 横軸：HARL レベル（後翅面積比レベル），縦軸：サンプル数.
 Fig. 5. Histogram (area ratio distribution) of hind wings of each locality.
 Horizontal axis: HARL level (hindwing area ratio level), vertical axis: number of samples.



考察

団化していることがわかる。すなわち、Ⅰグループは豊橋市弓張丘陵北麓から静岡県境に沿って北上し、豊川以北の作手や三河湖周辺から矢作川以東の中流域の支流部、Ⅲグループは尾張地方東部の愛岐丘陵やそれに連続する南部の丘陵地と矢作川以東の三河湾北岸沿い、そしてⅠとⅢグループ内の特定の狭い地域にⅡグループが分布する。一方、Ⅳグループは愛知県東部で豊橋市東部の弓張丘陵南麓の太平洋岸、三河山間部、知多半島南端に分布するが、三河山間部の個体群は食餌植物のイボタノキの分布は広いが、生息密度が希薄で産地・個体数とも少なく、産地間の距離も乖離的で互いの交流頻度も少ない孤立的な産地が点在する（高橋ほか、1991；田中、2000, 2005）。県東部の太平洋岸の個体群は、赤石山脈（南アルプス）の南西端部の弓張丘陵を境界として北麓にⅠグループ、南麓にⅣグ



第7図. 各産地の前翅に対する後翅面積比の回帰直線.
横軸：FARL, 縦軸：HARL.

Fig. 7. Regression lines for the ratio of hindwing to forewing area for each locality.
Horizontal axis: FARL, vertical axis: HARL.

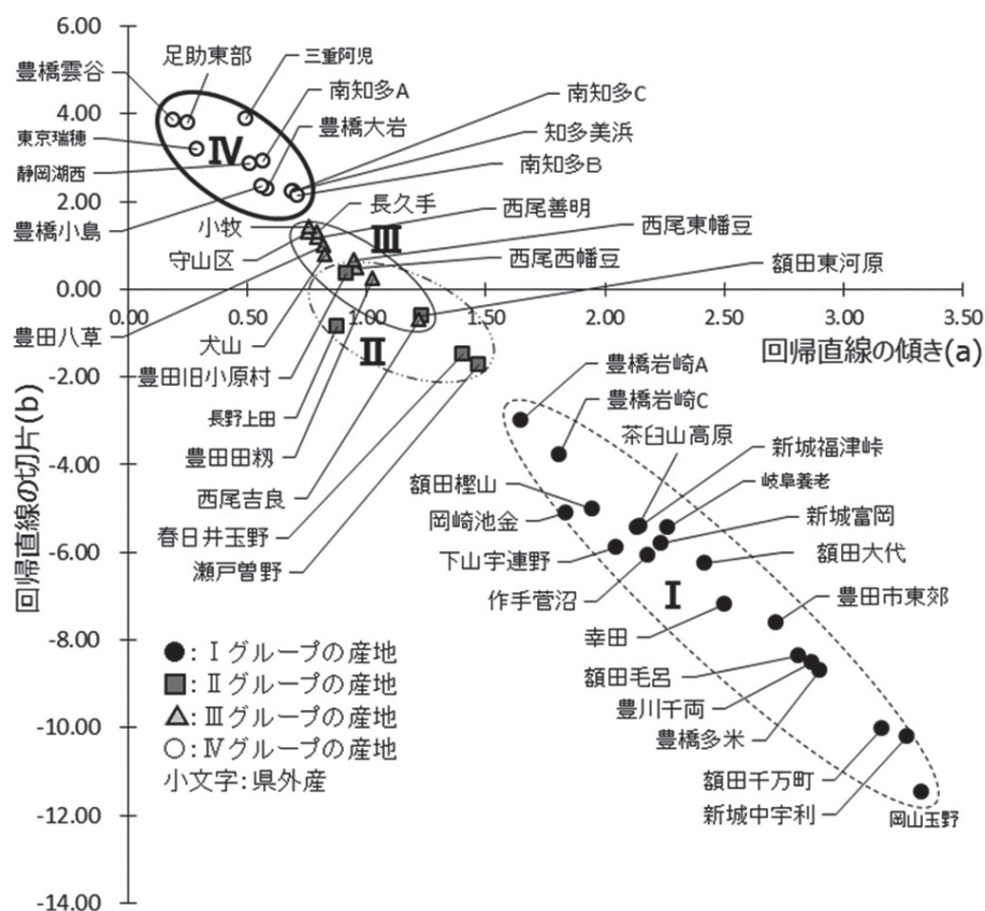
第2表. 各産地の全分析結果.

分布地区：東三；東三河，西三；西三河，尾張は愛知県内の各地方を示す。最左欄が着色の産地は条件式で判定できず，着色した項目因子で判定結果を決めた産地。

Table 2. All analysis results for each locality.

Distribution area : Higashi-San ; East Mikawa, Nishi-San ; West Mikawa, and Owari, indicating the regions in Aichi Pref.. The locality where the left-most column is colored cannot be judged by the conditional equation and the judgment result is determined by the colored item factor.

産地名	判定結果	分布地区	回帰直線			標準偏差				条件式による判定				出現レベル		ヒストグラム	
			傾き a	切片 b	後翅 σ	I グループ	II グループ	III グループ	IV グループ	FARL	HARL	前翅	後翅				
茶臼山高原 (n=9)	I	東三	2.13	-5.42	1.11	○	×	×	×	4~6	1~5	1山型	2山型				
設楽田口 (n=1)	IV	東三	—	—	—	—	—	—	—	4	4	1山型	1山型				
豊橋小島 (n=46)	IV	東三	0.56	2.34	0.17	×	×	×	○	4	4~5	1山型	1山型				
豊橋雲谷 (n=42)	IV	東三	0.19	3.87	0.22	×	×	×	○	4	4~5	1山型	1山型				
豊橋大岩 (n=7)	IV	東三	0.58	2.29	0.38	×	×	×	○	4~5	4~5	1山型	1山型				
豊橋岩崎A (n=28)	I	東三	1.65	-2.99	0.71	○	×	×	×	4~6	2~4	1山型	1山型				
豊橋岩崎B (n=74)	IV	東三	—	—	0.20	—	—	—	—	4~5	4	1山型	1山型				
豊橋岩崎C (n=18)	I	東三	1.81	-3.78	0.89	○	×	×	×	4~6	2~5	1山型	1山型				
豊橋多米 (n=10)	I	東三	2.90	-8.68	0.84	○	×	×	×	4	2~5	1山型	2山型				
新城福津峠 (n=4)	I	東三	2.15	-5.39	1.19	○	×	×	×	3~4	2~4	1山型	2山型				
新城富岡 (n=14)	I	東三	2.24	-5.79	1.03	○	×	×	×	4~6	2~5	1山型	1山型				
新城中宇利 (n=11)	I	東三	3.27	-10.20	0.85	○	×	×	×	3~4	2~4	1山型	1山型				
鳳来黄柳野 (n=1)	I	東三	—	—	—	—	—	—	—	4	2	1山型	1山型				
作手善夫 (n=5)	I	東三	—	—	1.02	—	—	—	—	3~4	2~4	1山型	1山型				
作手菅沼 (n=5)	I	東三	2.18	-6.07	0.44	○	×	×	×	4	2~3	1山型	1山型				
豊川千両 (n=12)	I	東三	2.87	-8.50	1.10	○	×	×	×	3~4	2~5	1山型	2山型				
蒲郡 (n=4)	III	東三	—	—	0.22	—	—	—	—	5	5~6	1山型	1山型				
下山宇連野 (n=5)	I	西三	2.05	-5.90	0.49	○	×	×	×	4	2~3	1山型	1山型				
下山羽布 (n=2)	I	西三	—	—	0.17	—	—	—	—	4	2	1山型	1山型				
額田巴山 (n=3)	I	西三	—	—	0.26	—	—	—	—	4	2~3	1山型	1山型				
額田千万町 (n=7)	I	西三	3.16	-10.03	0.95	○	×	×	×	4	2~4	1山型	2山型				
額田毛呂 (n=9)	I	西三	2.81	-8.35	1.02	○	×	×	×	4~6	2~5	1山型	2山型				
額田切山 (n=3)	IV	西三	—	—	0.12	—	—	—	—	4	4	1山型	1山型				
額田東河原 (n=45)	II	西三	1.23	-0.62	0.66	×	○	×	×	3~4	1~5	1山型	1山型				
額田大代 (n=6)	I	西三	2.42	-6.24	0.89	○	×	×	×	3~4	3~5	1山型	1山型				
額田檉山 (n=74)	I	西三	1.95	-5.01	0.75	○	×	×	×	3~4	1~5	1山型	1山型				
岡崎池金 (n=34)	I	西三	1.84	-5.11	0.92	○	×	×	×	3~4	1~5	1山型	1山型				
幸田 (n=56)	I	西三	2.50	-7.19	1.51	○	×	×	×	4~6	1~7	1山型	2山型				
西尾東幡豆 (n=35)	III	西三	0.95	0.66	0.32	×	×	○	×	4~5	4~5	1山型	1山型				
西尾西幡豆 (n=63)	III	西三	0.96	0.47	0.32	×	×	○	×	4~5	4~5	1山型	1山型				
西尾吉良 (n=67)	III	西三	1.22	-0.68	0.33	×	×	○	×	4~5	4~6	1山型	1山型				
西尾善明 (n=4)	III	西三	0.80	1.17	0.24	×	×	○	×	4	4~5	1山型	1山型				
豊田旧小原村 (n=4)	II	西三	0.91	0.35	0.42	×	○	×	×	4	3~4	1山型	1山型				
豊田旧旭町 (n=3)	IV	西三	—	—	0.08	—	—	—	—	4	4	1山型	1山型				
豊田旧藤岡町 (n=5)	IV	西三	—	—	0.15	—	—	—	—	4	4	1山型	1山型				
足助東部 (n=23)	IV	西三	0.25	3.79	0.26	×	×	×	○	4	3~5	1山型	1山型				
豊田六所山 (n=5)	IV	西三	—	—	0.14	—	—	—	—	4	4~5	1山型	1山型				
豊田市東郊 (n=71)	I	西三	2.72	-7.61	1.21	○	×	×	×	4~6	1~6	1山型	2山型				
三好 (n=1)	III	西三	—	—	—	—	—	—	—	5	4	1山型	1山型				
豊田広幡 (n=2)	III	西三	—	—	0.09	—	—	—	—	4	4	1山型	1山型				
豊田八草 (n=14)	III	西三	0.82	0.99	0.29	×	×	○	×	4	4~5	1山型	1山型				
豊田田郷 (n=27)	III	西三	1.03	0.24	0.34	×	×	○	×	4~5	4~5	1山型	1山型				
長久手 (n=11)	III	尾張	0.79	1.28	0.23	×	×	○	×	4~5	4~5	1山型	1山型				
瀬戸北山 (n=1)	III	尾張	—	—	—	—	—	—	—	4	4	1山型	1山型				
瀬戸定光寺 (n=1)	III	尾張	—	—	—	—	—	—	—	4	4	1山型	1山型				
瀬戸余床 (n=2)	II	尾張	—	—	—	—	—	—	—	3~4	4	1山型	1山型				
瀬戸曾野 (n=18)	II	尾張	1.47	-1.71	0.64	×	○	×	×	4	3~5	1山型	1山型				
春日井玉野 (n=10)	II	尾張	1.41	-1.47	0.64	×	○	×	×	3~4	3~5	1山型	1山型				
守山区 (n=145)	III	尾張	0.76	1.29	0.26	×	×	○	×	3~4	3~4	1山型	1山型				
春日井明知 (n=1)	III	尾張	—	—	—	—	—	—	—	4	4	1山型	1山型				
春日井神屋 (n=2)	III	尾張	—	—	0.25	—	—	—	—	4	4	1山型	1山型				
小牧石金 (n=3)	III	尾張	0.76	1.41	0.20	×	×	○	×	3~4	4	1山型	1山型				
小牧大草 (n=11)	III	尾張	0.76	1.41	0.18	×	×	○	×	3~4	4	1山型	1山型				
大山今井 (n=5)	III	尾張	0.83	0.79	0.19	×	×	○	×	4	4	1山型	1山型				
大山入鹿 (n=4)	III	尾張	0.83	0.79	0.26	×	×	○	×	4	4	1山型	1山型				
知多美浜 (n=110)	IV	尾張	0.69	2.22	0.22	×	×	×	○	4~5	5~6	1山型	1山型				
南知多A (n=106)	IV	尾張	0.57	2.91	0.17	×	×	×	○	4~5	5~6	1山型	1山型				
南知多C (n=73)	IV	尾張	0.69	2.22	0.25	×	×	×	○	4~5	5~6	1山型	1山型				
南知多B (n=17)	IV	尾張	0.71	2.12	0.16	×	×	×	○	5	5~6	1山型	1山型				
岐阜養老 (n=5)	I	県外	2.26	-5.42	0.65	○	×	×	×	4	3~5	1山型	1山型				
岡山玉野 (n=17)	I	県外	3.33	-11.48	2.14	○	×	×	×	3~5	0~5	1山型	2山型				
長野上田 (n=17)	II	県外	0.88	-0.86	0.64	×	○	×	×	3~4	1~4	1山型	1山型				
静岡湖西 (n=9)	IV	県外	0.51	2.87	0.30	×	×	×	○	4~5	4~5	1山型	1山型				
東京瑞穂 (n=6)	IV	県外	0.29	3.19	0.12	×	×	×	○	4	4	1山型	1山型				
三重阿児 (n=9)	IV	県外	0.49	3.89	0.12	×	×	×	○	4~5	5	1山型	1山型				



第8図. 回帰直線の比較による各産地とグループの関係.

Fig. 8. Relationship between each locality and group by comparison of regression lines.

グループがおおよそ分布する。この南麓の産地は静岡湖西と同じ発現性質を持った個体群であり、近年、この方面より分布を広げてきた可能性も指摘され（木村・白井, 2017）、今後の動態が注目される。

また、他県産との近隣地域でも岐阜県養老産はIグループ、伊勢湾の対岸の三重県阿児町産はIVグループ、長野上田産はIIグループで県内産と共通のグループであったことから、知多半島を含む尾張地方や西三河地方、中部山岳地域の個体群も近隣の長野県下伊那地方や岐阜県の養老山脈・伊吹山地から西濃・中濃・東濃地方、伊勢湾を隔てた三重県伊勢地方の各分布圏に接続し、県外の産地との連続したラインが成立していることが考えられた。

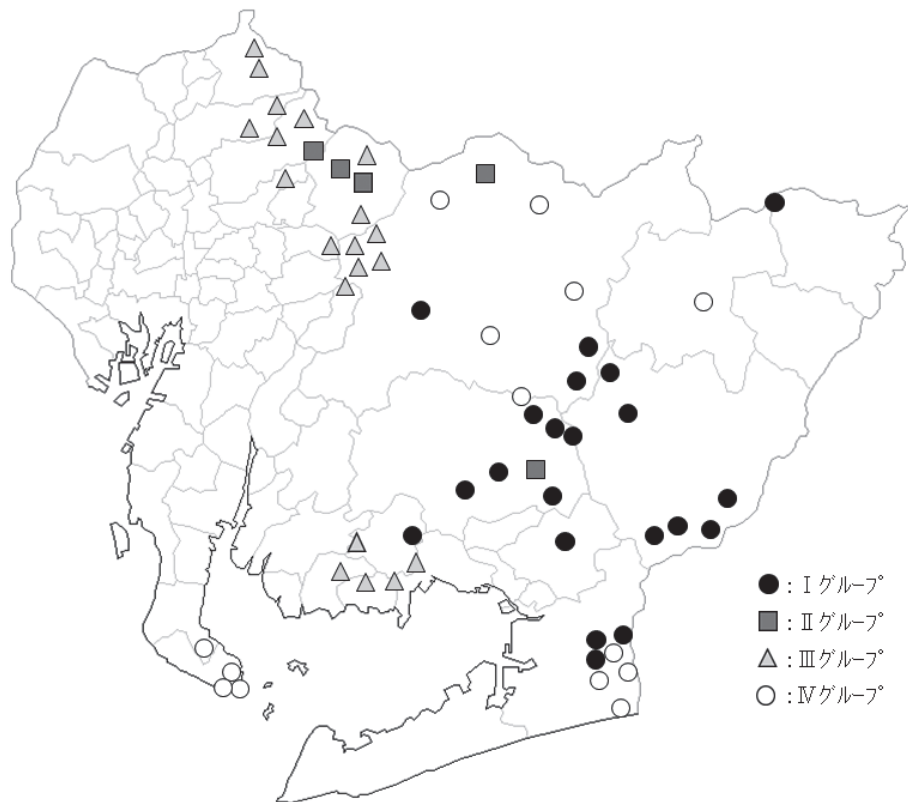
県内産のグループの形態がなぜこのような複雑な分布になっているか、筆者はその成因について過去の時代の分布動態に起因しており、過去に県内に広く分布した正常型（標準型）の個体群に黒色型（黒化型）が侵入した大きな事象が3度あって、その時期がほぼ同

じだった産地で各グループが構成されたと推測する。侵入を受けた個体群はその後の侵入頻度や経過時間で若干の差異はあるが、優位な発現性質の系統発生を繰り返しながら、最終的には現在の形質を持った個体群となり、未侵入の産地は現在も原形の形質のまま残存していることが考えられた。

2) 一山型と二山型の関係

後翅のヒストグラム（変異分布）から、県内産の多くの産地は母集団のピークが1つだけの一山型で、母集団が二山型は少なかった。しかし、二山型の産地のうち、近隣産地が一山型の新城福津峠・豊橋多米・額田毛呂・額田千万町はサンプル数が少なく、サンプル数が増えれば間隙が繋がって二山型にはならない可能性もある。

また、二山型の回帰直線は発現性質を正確に表現していないことが考えられたので、比較的サンプル数の多い県内産の幸田・豊田市東郊・茶臼山高原産と県外



第9図. 愛知県の各グループの分布.

Fig. 9. Distribution of each group in Aichi prefecture.

産の岡山玉野産を使用し、正常型（標準型）と黒色型（黒化型）の個々の回帰直線を算出し、発現性質の分析を試みた。ただし、茶臼山高原産は今回調査した個体と文献記録（阿江，1976）の多くは黒色型（黒化型）で、正常型（標準型）の記録は筆者が採集した1♂と豊根の動物調査委員会編（1980）の掲載写真による1♂しかないので、この産地の正常型（標準型）は詳細に分析できなかった。

第10図に調査した二山型産地の各型の回帰直線の傾き（a）を横軸、切片（b）を縦軸とした分散図、第3表には各因子における条件式での判定結果を示す。その結果、二山型の正常型（標準型）は幸田産がIグループ、豊田市東郊産と岡山玉野産がIIIグループとなり、黒色型（黒化型）は茶臼山高原産だけはIグループのままだったが、幸田産・豊田市東郊産は傾き（a）と標準偏差（ σ ）がIVグループ、切片（b）がIIIグループ、岡山玉野産は傾き（a）と切片（b）がIグループ、標準偏差（ σ ）がIVグループで各因子の組合せが崩れて県内産の条件式が成立せず、該当するグループがなかった。つまり二山型の各産地の正常型（標準型）と

黒色型（黒化型）の発現性質はI～IIIグループの回帰直線に変化しており、岡山玉野産の正常型（標準型）はIVグループから、岡山玉野産と茶臼山高原産の黒色型（黒化型）はIグループからの変化が幸田産・豊田市東郊産の両型の変化に比べ少ないことから、黒色型（黒化型）の正常型（標準型）への侵入またはその逆侵入の時期がまだ新しいことが考えられた。

以上のことから、筆者は一山型と二山型の変異分布の関係については、一山型の正常型（標準型）の個体群に黒色型（黒化型）の個体が侵入または逆侵入することにより、斑紋等の遺伝的な性質が複雑化して変異分布が二山型に変化し、以後、長い時間と世代を重ねることによって次第に安定化して最終的に原形とは異なった変異（巾）の大きいよりフラットな一山型になったと推測するが、これにはさらなる事例の検証が必要である。

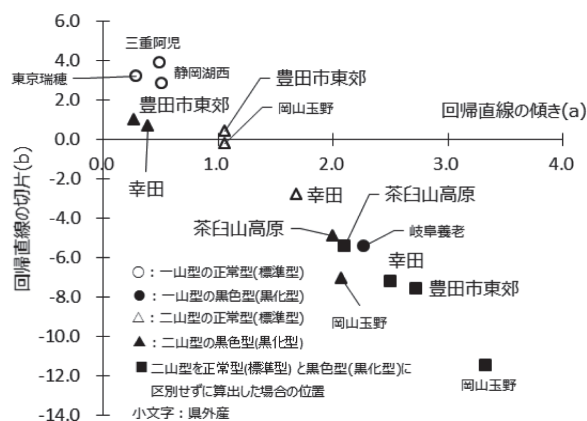
3) 正常型（標準型）と黒色型（黒化型）の定義

今回の結果で得られた後翅の条件式を県外産にも適用すると、東京瑞穂・静岡湖西・三重阿児産は正常型

第3表. 二山型産地の分析結果.

Table 3. Results of the analysis of the bimodal type locality.

産地名	判定結果	分布地区	回帰直線		標準偏差 後翅 σ	条件式による判定				出現レベル	
			傾き a	切片 b		Iグループ	IIグループ	IIIグループ	IVグループ	FARL	HARL
正常型(標準型) 岡山玉野	III	県外	1.06	-0.23	0.24	×	×	○	×	4~5	4~5
正常型(標準型) 幸田	I	西三	1.68	-2.79	0.64	○	×	×	×	4~6	5~7
正常型(標準型) 豊田市東郊	III	西三	1.06	0.41	0.37	×	×	○	×	4~5	4~6
黒色型(黒化型) 茶臼山高原	I	東三	2.00	-4.90	0.71	○	×	×	×	3~4	1~3
黒色型(黒化型) 岡山玉野	非該当	県外	2.07	-7.08	0.32	×	×	×	×	3	0
黒色型(黒化型) 幸田	非該当	西三	0.39	0.66	0.27	×	×	×	×	3~4	1~2
黒色型(黒化型) 豊田市東郊	非該当	西三	0.27	0.99	0.29	×	×	×	×	3~4	1~2



第10図. 二山型産地の回帰直線の比較.

Fig. 10. Comparison of regression lines for the bimodal type locality.

(標準型), 長野上田産・岐阜養老産の黒色型(黒化型)は県内産と同じ発現性質を持ったグループと判断された. ところが愛知県とは地理的に離れた岡山玉野産の黒色型(黒化型)はIグループではあったが, この産地だけは変異分布がHARL0レベルで変異(巾)も小さい($\sigma \leq 0.4$)特徴が認められたので, 実際には県内産には存在しない別のグループと考えられた. 今回, 筆者の所有標本が少なく詳細な調査ができなかったが, 近隣の四国産では黒色型(黒化型)は後翅表面の青白色斑や内縁までが黒化した個体や, 前・後翅裏面の白色地が強く薄墨色を呈する特徴も見られたので, 岡山玉野産と同じ発現性質を持つグループと思われる.

以上の知見を総合すると, 日本列島に分布する真の黒色型(黒化型)と言うべき個体群はこのグループだけと考えられ, 県内産の黒色型(黒化型)はそれに比べHARLの変異巾が広すぎてその変異巾の範囲内に正常型(標準型)の個体も含まれるので, 中間型とは言えず正確には正常型(標準型)~黒色型(黒化型)の移行型と言うべきであろう.

ただし, 移行型と言う名称を単に常用したとしても変異巾が広すぎて変異の実態が抽象化すると考えられるので, 今後, 個々の個体や各集団の変異を表現する場合は, 正常型(標準型)と黒色型(黒化型), グレード等のような指数のような尺度的で曖昧な数値を使用せず, 本報のFARLやHARLの面積比のような連続的で根拠のある数値で具体的に表現する方法を提唱する.

謝 辞

末筆ながら筆者に生物統計手法の基礎を導き, 今回の報文のきっかけを与えて下さった信州大学繊維学部旧生物学教室の小山長雄名誉教授, 蝶の斑紋解析を従来の数学や統計学の解析手法の観点から意見をいただいた岐阜県高山市の西田真也氏, 旧豊田市の文献資料を送られた豊田市の田中 蕃氏(いずれも故人), そしてあえて氏名は記さないが, 在職中に業務で実践的に活用した統計学の解析理論を自然科学分野へ視野を広げて下さった元自社の専門分野の方々, 自己の所有標本の写真を提供された静岡県湖西市の白井和伸氏, 豊橋市自然史博物館の所蔵標本を調査させていただいた長谷川道明学芸専門員に厚くお礼を申し上げる.

引用文献

- 阿江 茂, 1976. 愛知県北設地方の蝶類. 茶臼山高原道路建設予定地域付近の昆虫相. 茶臼山高原道路(県道茶臼山高原設楽線)建設予定地域の自然環境調査報告書, 愛知県, 215-225.
- 藤岡知夫, 1971. 日本のアサマシジミをめぐって(上). 月刊むし, (7): 12-18.
- 木村一好・白井和伸, 2017. 静岡・愛知県境, 天伯原台地周辺のウラゴマダラシジミ. 駿河の昆虫, (259): 7104-7106.
- 久保康彦・横山隆司, 2013. ウラゴマダラシジミの分布と変異.

- 有田 齊・前田善広（編），珠玉の標本箱 日本産蝶類標本写真およびデータベース（5）シジミチョウ科④ウラゴマダラシジミ，NRC 出版，大阪，1-2.
- 南 和秀，2011. ウラゴマダラシジミ斑紋の定量化による地理変異の研究. *Butterflies (S. fujisanus)*, (53) : 9-25.
- 白水 隆，2006. 日本蝶類標準図鑑. 学研，東京，336p.
- 鈴木哲彦・中野善敏. 1987. 愛知県のミドリシジミ類－分布と生息環境 1. 佳香蝶，**39** (152) : 49-57.
- 高橋 昭・葛谷 健・阿江 茂・窪田宣和・中野善敏・鈴木哲彦・広沢義雄・村岡修二・大曾根 剛・横地鋭典・田中 番・鈴木友之，1991. 愛知県のチョウ類. 愛知県の昆虫（下），愛知県農地林務部自然保護課，21-95.
- 田中 蕃，2000. 豊田の昆虫 V，チョウとガ，豊田市自然保護課，豊田市，119 p.
- 田中 蕃・有田玲子・岩月 学・蟹江 昇・小林廣成・間野隆裕・高橋匡司・山田真澄，2005. VII 昆虫類. 佐藤正孝（監修），豊田市自然環境基礎調査報告書，豊田市自然環境基礎調査会，豊田市，181-323.
- 築添 正，1977. 精密測定学. 養賢堂，東京，199 p.
- 豊根の動物調査委員会編，1980. 愛知県豊根村の動物. 豊根村教育委員会，豊根村，285 p.

（要 旨）

大曾根 剛：画像処理による愛知県産ウラゴマダラシジミの斑紋変異の定量解析

画像処理技術を用いてウラゴマダラシジミの斑紋変異を計測し，その定量解析を新しい手法で試みた.

愛知県内のウラゴマダラシジミは各産地の面積比データを統計解析し，回帰直線と標準偏差の結果から4つのグループに整理され，正常型（標準型）と正常型（標準型）から黒色型（黒化型）への3段階の移行型が分布することが明らかになった. このような複雑な分布形態は，過去の分布動態に起因するものと考えられた.