

蚕児腹部に単眼移植を行つてえられた蛾体の の複眼について*

小山 長 雄

Nagao, KOYAMA: The Imaginal Compound Eye developed on the Abdomen of the
Silkworm Moth after Transplantation of the Larval Optic Discs.

(1953年9月15日受理)

カイコの幼虫の単眼を胸部や腹部に移植してそれから
発達した成虫の複眼色を遺伝学的に調べた実験はあるが
(諸星, 1938, 1941), これを光感覚器官として取扱い,
解剖学的に研究したものはまだないように思われる。

私はカイコの複眼の網膜色素 reticular pigment 移
動の原因究明の一助として, 単眼を移植することによつ
て成虫の腹部外表に脳から隔離した複眼を生ぜしめて,
その形態・機能等を調べたのでその結果を報告する。

この研究は当学部教授八木誠政博士の御指導によつた
ものであり, なお先生には本稿御校閲の労をわずらわした。
銘記して深謝の意を表する次第である。

材料及び実験方法

材料には日2化×交2化の交雑種を用い, 5齢3日目に幼虫の側単眼 lateral ocelli を chitin 板とともに切りとつて, これを別の幼虫の腹部重背線上の表皮下におのおの1コずつ移植し, その後普通育を行い羽化にみちびいた。この実験では体組織中に埋没した複眼は明及び暗適応の材料として不適当であるので, 供試個体はすべて複眼が表皮上に露出したものを用いた。

羽化後10時間以内に正常に発達した複眼に対し次の条件を与えた。

- 1) 光度1000luxに20分間露出 (温度25°C湿度65%)
- 2) 光度0 lux (暗黒) に20分間接触 (温度25°C, 湿度86%)

上記条件を与えた個体の複眼は外観を調査すると直ちに Carnoy's solution で固定し, 常法により62°C paraffin を用いて切片とした。ただし, 色素の分布状態をみるため染色は施さなかつた。

供試材料の対照複眼 (頭部) は勿論黒紫色を呈してお

* 信州大学繊維学部生物学科研究業績第14号。
昭和28年度文部省科学研究助成金の補助をうけた
“家蚕及び野蚕の複眼に関する研究”の一部をなす
もので助成された当局に深く感謝する。

り外観上 1) においては完全に明適応し, 2) においては完全に暗適応をなし光瞳孔 glow が見えた。

移植の結果は Table 1 に示す通りである。

Table 1. Results of transplantation

Number of larvae transplanted	normal	abnormal	failed
50	4	9	37

表皮上に露出した複眼は合計13コあつたが, この中対照眼に近い形態をしたものは4頭で, 他の9頭は異常形 (破片眼—諸星, 1938) であつた。

実験結果及び考察

形 態

角膜レンズ Corneal lens: Corneal lens はいずれも Concavo-convex で対照眼と何ら差異は認められないが, 小眼面 facet は正大角形を示さないものが多く, 大きさも変異にとんでいる。特に複眼周縁部の facet は中央部のそれに比し小さい。lens の諸元は Table 2 に示す通りである。

佐藤 (1953, a, b, c) によれば, 蚊類では同一複眼内においては早期に形成された小眼 ommatidiumほど facet が小形であるというが, この実験では, 眼の周縁部と中央部との facet に差は認められたが蚊の場合と同様形成の時期による相異か不明である。諸星 (1938) はカイコの単眼移植より生じた複眼は正常眼* では対照眼よりも大, 破片眼は正常眼より小で大きさに変異があると述べ, 正常眼及び破片眼ともに判然たる ommatidium の区劃をみることができなかつたとしている。しかし, 私の場合では極めて明瞭にこの区劃が認められた (Photo. 2)。これはカイコの体内部に埋没して発達した複眼と体表に露出したものの相異点であろうが, 異常形 (Photo. 5)

* この場合移植されて正常に発達したものを指す。

Table 2. Measurements of the corneal lens (average value)

Diameter of a facet		Size of a facet		Thickness of the cornea		Radius of curvature	
Central region of the eye	Marginal region of the eye	Central region of the eye	Marginal region of the eye	Center	Edge	Outer surface	Inner surface
27.6 μ	22.6 μ	495 μ^2	332 μ^2	11.0 μ	8.4 μ	25.1 μ	30.8 μ

においても明らかに認められるので、更に解剖学的検討を要するものと思う。

円錐晶体系 * Crystalline part: 円錐晶体系 crystalline cone の形態は対照眼とほぼ同一であるが cone の中央部が対照眼より細くけずられたものが多い (Photo. 3)。長さは平均 45.4 μ 、巾は平均 11.1 μ であつて対照眼のそれぞれ 60.0 μ 、18.0 μ に比べては小さかつたが、長さと巾の比は 4.10 で、対照眼の 3.33、クワゴの 3.93 より大で、シジユサンの 4.25 よりは小である。すなわち対照眼よりも細長い cone を持つものといえよう。cone は対照眼同様 4 コの細胞よりなる。

虹彩色素 iris pigment は濃紫色を呈し cone を密に包んでいる。

網膜及び桿状体部 Retinal and rhabdome parts: retinula, rhabdome, tapetum 及び basement membrane はいずれも存在するが、対照眼 (290 μ 内外) に比してはいちじるしく発達せず、長さは 100 μ に達しない。しかし、retinular pigment (secondary pigment) 及び基底色素 basal pigment は非常に多く両者連絡してこの部分を充滿している (Photo. 2, 3)。このようなことは対照眼では全く見られぬところで、あたかも鱗翅目アゲハチョウ科に属するものの複眼 (八木, 1951) や直翅目のケラの複眼 (小山, 1952) 等に類似している。これは色素の絶対量の多いためか、複眼の発達の充分でないためか認知できないが、網膜部分の短いことからおそらく後者の原因によるものと思われる。

神経系 Nervous system: basement membrane から直接 retinula に連絡している神経の single bundle layer 及びそれより内方の compound bundle layer はいずれも認められるが (Photo. 4), KOPEC (1922) の *Lymantria dispar* で行つた実験——幼虫の最終齢脱皮後、脳及び視神経節 optic ganglion を切除した——と同様に compound bundle layer は非常に不規則のものが多い。KOPEC はこのことについて脳又は

* 硝子体、結晶球等の和名があるが、ここでは杉山 (1933)、八木 (1938) 等に從つて上記の名を用いた。

optic ganglion は compound bundle layer 發育中正しい配列をとらせるよう働くものでこれらを欠いた結果正常に発達しなかつたものと推定している。又氏は単眼の移植によつて腹部に生じた複眼では正常の眼の如く、四方に放射した神経が見られなかつたという。しかし、私の実験では opticon 及び epiopticon が認められずに periopticon 及び external chiasma* が認められた。又神経の single 及び compound bundle layer は不規則ながらも四方に放射しているのがみられた (photo. 4)。external chiasma には色素が多く移植の成功したものは皆この側面に単眼痕跡 (池田, 1904, 1913) が見られた。

キチン板 Chitin plate: 正常の複眼は chitin plate によつて支えられているが (photo. 2)、異形状ではないものや、発達しないものが発見された。充分発達した眼ではよく chitin plate が發育しているので、複眼の発達と chitin plate の発達とは密接な関係があると思われる。従来外観的に複眼色を決定しているが、移植した複眼ではこの chitin plate の発達の有無が実は複眼色に多分に影響しているので、特に異形状の場合には外観のみで複眼色を決定するのは危険である。すなわち chitin plate が眼の側面正常位に位置しない場合は白眼といえども黒色眼にみえることがあるからである。

気管系 Tracheal system: chitin plate の末端部から複眼内に侵入し tapetum に到つているのは、対照眼と同一であるが、その発達は頗る遅退している。

異常形: 破片眼に相当し、種々の形態のものがみられるが、いずれも corneal lens は正常に発達しており、この下に crystalline cone も存在する。ただし、大体において長さは極めて短縮されている。retinular 及び rhabdome 等は全然みられぬものも多く、特に細く突出した異形状では retinular pigment がないか、あつてもごくわずかである。このような部分では retinular の代りに無構造な原形質が充填し、時には空洞も作つている (photo. 5)。

* これらの名稱は HICKSON (1885), LUBBOCK (1888), PACKARD (1898), YAGI (1953) 等による。

複眼の基部は非常に色素が多く、神経繊維はあつても放射状をなさない。従つてこれらは機能的なものを持つとは思われぬ。異形状の1例は photo. 5 に示した通りである。

明及び暗適応

複眼を明及び暗の状態におくときは対照眼では外観的に相違がみられるが、移植されたものでは常に黒紫色を呈した。これらを内部的に検しても色素の移動は認められない。これは 1) 色素が reticular part に充満しているため移動の余地がないか、2) 神経中枢が欠除しているか、3) 気管が発達せぬため酸素の供給不十分か等がその原因として考えられる主要なものであるが、部分によつては移動の space があることから 1) は否定的で 2) と 3) の原因に可能性がある。カイコの複眼は光の存在下では必ず黒紫色で、暗になると中央に glow を生ずるから、この実験の場合の複眼は全部明適応時の複眼とみられる。従つて対照眼の如く機能的に働くものとは考えられない。もしこの場合ホルモンのような色素の移動に関与するとすれば、色素移動の可能な部位において当然移動が行われると考えられるので、カイコの場合には reticular pigment の移動に関してホルモンの物質の存在は否定的である。なお、この考察は検討の余地が多いが、それについては別に報告する用意があるのでここでは私の考えを述べるに止める。

複眼の発達と神経との関係

KOPEC (1922) は上述したように *Lymantria* で幼虫の脳や optic ganglion を最終齢で切除した場合にもこれと無関係に正常の複眼が生じたと報告し、これに対し KRAFKA (1924) は *Drosophila* の bar-eyed mutant で複眼と神経系の発達との間には極めて密接な関係があり、複眼の発達の小さなものは optic ganglion の大きさも又 reduce しているといっている。

私のカイコの実験では optic ganglion の存否は複眼の形成それ自体には何ら関係はないが、optic ganglion の1部或は全部が存在しなければ、形態・機能とも正常なる複眼は発達しないように思われる。しかし、これは幼虫の若齢期から単眼を移植して更に検討すべき問題である。

摘 要

1. カイコの幼虫の単眼をその腹部に移植して、それか

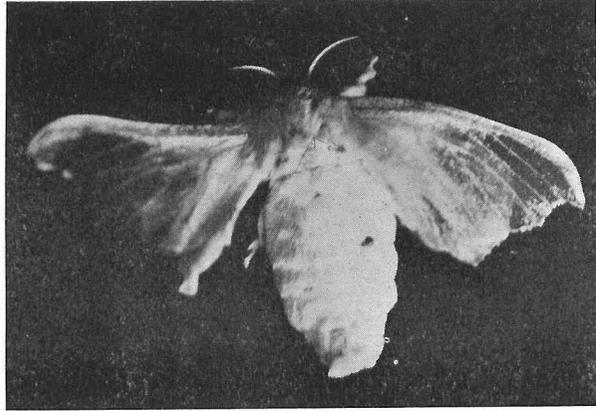
ら発達した成虫の複眼の構造及び機能について究明した。

- 移植によつて生じた複眼は形態上 diopteric organ は備えているが、正常眼より小形で、特に reticular と rhabdome の部分が正常のものに比し発達していない。
- iris 及び reticular pigment は多量に存在し、後者と basal pigment が連絡して、rhabdome を包み、reticular pigment は明及び暗に適応して migrate することが認められなかつた。
- nervous bundle は不規則ながら single 及び compound ともに存在し、放射状に分岐し、periopticon 及び external chiasma 並びに単眼痕跡が認められた。
- optic ganglion の存在は複眼の生成自体には無関係だが、複眼が完全なる發育をするためには optic ganglion が関係あるように思われる。
- 異常形の複眼にも corneal lens と crystalline cone は必ず存在したが、色素の分布、reticular, rhabdome 及び nervous system の構造は非常に irregular であつた。
- reticular pigment の移動に関与するホルモンの物質の存在は否定的である。

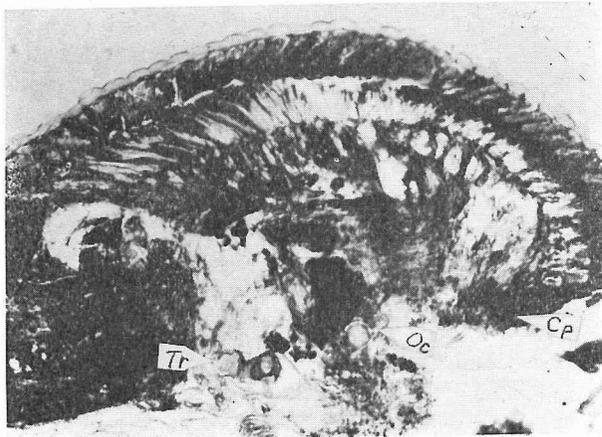
引用文献

- HICKSON, S. T.; Quart. Jour. Micro. Sc., 2, 25: 215—221 (1885)
- 池田栄太郎; 蚕業新報, 141: 858—861 (1904)
- ; 蚕体解剖生理論 (1913)
- LUBBOCK, T.; On the senses, instincts, and intelligence of animals, with special reference to insects: 1—292 (1888)
- KOPEC, S.; Jour. Expt. Zool., 36: 459—466 (1922)
- KOYAMA, N.; Jour. New Ent., 2, 3.4: 5—6 (1952a)
- ; Res. Report of Facul. Text. & Seric., 2: 47—50 (1952b)
- 小山長雄; 蚕糸学会中部支部講演集 5, (1953)
- KRAFKA, J.; Biol. Bull., 47: 143—149 (1924)
- 諸星澄次郎; 遺伝学雑誌, 14, 5: 204—210 (1938)
- ; Ibid., 17, 1: 21—27 (1941)
- PACKARD, A. S.; A text book of entomology: 1—729 (1893)

KOYAMA: PLATE I

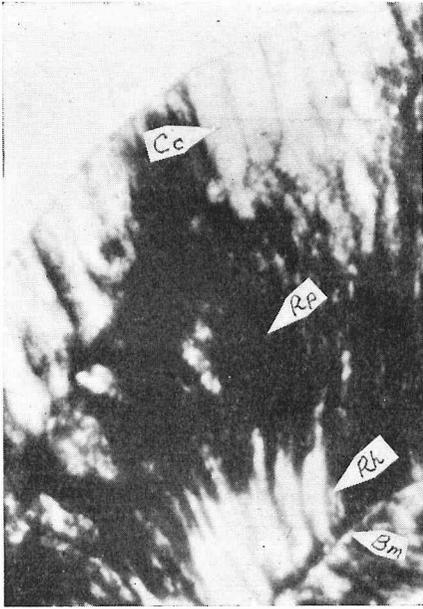


1



2

KOYAMA: PLATE II



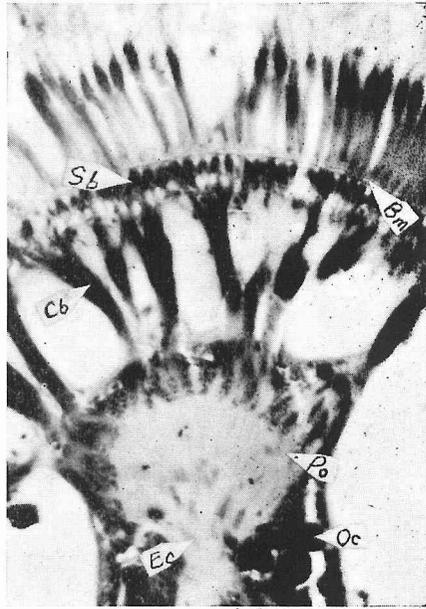
3



4



5



6

SATO, S.; Sci. Rep. Tōhoku Univ. Biol., 20, 1: 33—44 (1953a)

———; Ibid., 20, 1: 45—53 (1953b)

佐藤正三; 動物学雑誌, 62, 3.4: 81 (1953c)

杉山章平; 応用動物, 5, 5: 211—217 (1933)

八木誠政; 農事試験場彙報, 3, 2: 183—206 (1938)

YAGI, N.; Jour. Facul. Text, & Seric., Shinshu Univ., 1: 131—173 (1951)

———; Ibid., 3: 29—41 (1953)

Summary

In this account the result is given on the structure and the function of the imaginal compound eye developed from the transplanted ocelli on the abdomen of the silkworm. It is summarized as follows.

1. The transplanted eye has the dioptric parts as in the ordinary eye, though the total size and an unit ommatidium are reduced into small size as compared with those of the normal one.
2. The reticular pigment, being connected with the basal pigment, does not move up and down in the reticular part in the case of light and dark condition.
3. The development of the compound eye is accomplished without optic ganglion, but for the formation of the perfect eye the ganglion seems to be necessary.
4. It is hard to mention the decided example for the proof of the existence of the hormon substance which controls the migration of the reticular pigment in Bombyx eye.

Explanation of the plates

Photo. 1. A silkworm moth from the larva in which the germ of the imaginal eye had been transplanted on the fourth abdominal segment.

Photo. 2. Longitudinal section of the developed eye from the transplanted ocelli.

Photo. 3. Ditto of the crystalline and rhabdome parts when dark adapted.

Photo. 4. Ditto of the light adapted parts.

Photo. 5. An abnormal eye developed from transplanted ocelli.

Photo. 6. Longitudinal section of the nervous system of the normal eye.

Explanation of abbreviations in the plates

Bm: Basement membrane

Cb: Compound bundle layer

Cc: Crystalline cone

Cl: Corneal lens

Cp: Chitin plate

Ec: External chiasma

Oc: Trace of the ocellus

Po: Periopticon

Rh: Rhabdomere

Rp: Reticular pigment

Sb: Single bundle layer

Tr: Trachea

(Laboratory of Biology, Faculty of Textile and Sericulture, Shinshu University)