

カイコの生活環

— 目で見る体の形態的特徴 —

森 本 弘 一 奈良教育大学理科教育講座 (理科教育学)
杉 村 順 夫 京都工芸繊維大学

Life Cycle of the Silkworm, *Bombyx mori*

Visualizing Morphological Features of the Body Structure

Koichi MORIMOTO

(Department of Science Education, Nara University of Education)

Yukio SUGIMURA

(Kyoto Institute of Technology)

Abstract

The use of silkworm (*Bombyx mori*) as a teaching material has many advantages due to domesticated insect. In this paper, we describe morphological features of silkworm body, including all the changes in external form that occur in the life cycle: (1) structural characteristics in complete metamorphosis were observed by the naked eye and stereo-microscopy, and (2) peculiar parts of the 5th instar larva and the emerged moth were surveyed by low-vacuum scanning electron microscopy (SEM). The photographically recorded images could be useful for teaching about the insect.

キーワード：カイコ，外部形態，低真空型走査電顕

Key Words: silkworm, external morphology, low-vacuum scanning electron microscopy

1. はじめに

新学習指導要領(2017)の小学校3年では、「昆虫の育ち方には一定の順序があること。また、成虫の体は頭、胸及び腹からできていること」とある。さらに、「身の回りの生物の様子について迫りながら、差異点や共通点を基に、身の回りの生物と環境との関わり、昆虫や植物の成長のきまりや体のつくりについての問題を見いだし、表現すること」と記載されている。即ち、複数の昆虫を飼育し、それらの成長(変態)過程と体のつくり(外部形態)を比較し、それらの差異点や共通点を見いだし、表現することが求められている。多くの教科書では、モンシロチョウなどのチョウ、トンボ、バッタを卵から成虫まで飼育し、それらを観察する活動を通じて、昆虫の育ち方と体のつくりを理解させる内容展開となっている(啓林館; 大日本図書; 東京書籍)。これらの学習内容について、子供達の理解度調査では、胸に3対6本の脚が

あることの正答率は50%以下であった⁽¹⁾。東京都教育委員会での同様な調査(2016)でも、同程度の理解度であった⁽²⁾。また、小学校教員希望学生(n=124)を対象に、外部形態の描画を評価した調査では、十分な理解を伴う描画ができた学生は30.6%に過ぎなかった⁽³⁾。

新学習指導要領(2017)の小学校4学年で取り扱われる「季節と生物」では、「1年を通じて動物の活動や植物の成長をそれぞれ2種類以上観察し・・・」、「暖かい季節、寒い季節などによって違いがあること」の指導が述べられている。これまで動物として数種の昆虫が教科書で取り上げられ、ナナホシテントウは成虫、カブトムシは幼虫、オオカマキリは卵で越冬することが絵図で示されているが、モンシロチョウについては記述がなく(啓林館; 大日本図書; 東京書籍)、次世代への繋がりが欠けている。小学校教員志望の学生を対象にした松森らの調査⁽³⁾によれば、モンシロチョウの生活環についての正答率は4%であり、「完全変態」と記述できた学生は8.1%であり、

「変態」「完全変体」「変体」「変たい」「変態成長」を合わせても、36.3%に過ぎなかった。また、「変態」を「進化」と表現する学生も散見された⁽⁴⁾。1世代の育ち方のみならず、世代の連続性・子孫維持サイクルについての理解が低いと報告されている。

小学校3年生でモンシロチョウの飼育活動が行われることが多いが、実際に飼育経験を有すると回答した小学校教員志望の学生は34.7%にとどまった⁽³⁾。児童が実際に昆虫を採集・飼育することで、昆虫の体のつくりや育ち方について理解を深めていく授業展開が望ましい。しかし、①昆虫採集が困難な環境に位置する学校がある、②採集は時期と天候に左右される、③飛ぶ、不規則な動きがあり、観察には困難が伴う、④卵・幼虫の大きさが小さくて、取り扱い・観察がしづらい、⑤昆虫に嫌悪感を持つ児童がいる等の実施上の諸問題が指摘されている⁽¹⁾。

中学校2年理科教科書の「無セキツイ動物のなかま」単元（新学習指導要領では中学校1年理科）の節足動物・昆虫類の説明として、トノサマバッタが取り上げられ、その外部形態が記載されている（教育出版；啓林館；大日本図書）。実際にトノサマバッタの外部形態を調べるためには、モンシロチョウと同様に、採集環境、飼育時期、観察の困難さ、などの問題が生ずる。

上述した諸問題点が解消でき、且つ、モンシロチョウ、トノサマバッタなどの従来教材を補完する昆虫として、カイコが挙げられる。その理由は、カイコが持つ昆虫としての属性が教材として望まれる適性を満たしていることである。カイコ卵は販売（約1500円/500粒）されており、人工飼料も入手できる。従って、いつでも、どこでも、飼育することが可能な昆虫である。その特徴を次に列挙する：①クワ生葉での飼育法は確立しており、容易に飼育できる。人工飼料も販売されており、周年にわたり飼育が可能である、②飼育期間が短く、約1カ月で卵→幼虫→脱皮→繭形成・蛹→成虫→交尾→産卵までの1世代全ステージ（Egg to Egg）が観察できる、③卵から終齢幼虫までの体重や体長の増加幅が大きく、成長変化が分かりやすい（モンシロチョウの終齢幼虫サイズは約2.7 cm長で0.2g以下に対して、カイコでは約7 cm長で6 gである）、④飼育中に逃亡することがない（成虫は飛び立つことができない）、⑤刺す、咬みつくなどの危害を与えない、⑥飼育期間中、糞などから異臭がない、⑦有害な病原菌を媒介しない。

次に、初等理科教育での教材としてのカイコの有用性に着目したい。小学生を対象にした昆虫教材を選択する適性評価基準として、以下の8項目が報告されている⁽⁵⁾：①入手の容易性、②餌入手の容易性、③取り扱いの容易性、④観察の容易性（体の大きさ）、⑤ライフサイクルの長短、⑥児童にとっての魅力性、⑦6～7月に成長過程が観察できるか否か、⑧頭・胸・腹が明確に区別でき

るか否か。カイコはこれらの適性評価基準を満たしており、小学校での昆虫の形態・生活環や機能特性を知るための教材として役立つものである。また、生活科や総合学習にも利用できることが報告されており^(6, 7, 8)、教科横断的な飼育・観察教材となる。

現在では、教材として、カイコは、小・中・高校の教科書でも断片的に取り上げられている。小学校3年理科での「チョウ以外の昆虫のそだち方」では、成長変化と主要な外部形態が記述されている（教育出版；大日本図書）。中学校3年理科の「遺伝の規則性と遺伝子」単元の「かいこの遺伝」では、斑紋形質のメンデル遺伝が取り上げられ（大日本図書）、「くらしを支える科学技術」単元では、衣料と科学技術として「・・・かいこからの絹（シルク）も素材になった」と紹介している（大日本図書）。また、高校生物の「動物の行動」単元に、「カイコガの性フェロモン」が取り上げられ、雌の誘引腺と触角の形態とその機能が掲載されている（啓林館；数研出版；東京書籍）。しかし、これまでカイコの生活環や体のつくりを総合的に提示した資料教材はなかった。

日本蚕糸学会が小・中・高校を対象にして行った調査結果から、カイコの教材利用に関する情報が不足していると指摘している⁽⁹⁾。これまで、カイコを用いた実験手引書^(10, 11)が刊行されているが、発行から長い年月が経ち、掲載されている情報を容易に入手することが困難になっている。また、記載されている形態の特徴は、主として概略図やスケッチ図であり、実際の観察とのイメージギャップがあり、確認が困難であった。さらに、観察方法について明確に示されておらず、小・中・高校教員が観察し、特徴ある器官や組織部位を容易に同定することを妨げてきた。

本研究では、教育現場でカイコを取り上げるために必要となる基本情報を刷新し、それらに関連付けて提示することを目的とした。即ち、成長・変態の全過程に則し、背面、側面、腹面、正面などの諸角度から、肉眼、光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡レベルで観察したものをリアルな写真で提供し、全ステージを統合して記述したカイコに関する新しい資料教材の作成である。本研究で示した写真資料は、学校現場でも使える有用な教材となるであろう。また、繭から絹糸の取り出し方、絹繊維の構造についても教材として使えるよう提示した。なお、本報で示している写真図は、著者が全て撮影したものであり、小・中・高校教員が観察・同定できるように方法を明示した。

2. カイコの飼育と観察の方法

2.1. 飼育方法

供試したカイコ (*Bombyx mori*) は、'錦秋' と '鐘和' の

交雑種であり、その卵を上田蚕種(株)から購入した。クワ生葉を用いて卵から全幼虫期間を飼育し、蛹化・羽化・交尾に至る全ステージを観察した。飼育は虫体サイズに応じて、2種類のスチロール容器(大容器:27.5×20cm, 高さ5cm, 小容器:22×15.5cm, 高さ4cm)を用いて、その底にプラスチック網(大容器:網目1.2cm, 小容器:網目0.8cm)を敷き、その上に20~30頭幼虫/容器を置き、恒温器内(25℃)で飼育した。この間、毎日、糞を除去し、給桑した。5齢5~6日目になった幼虫は、プラスチック網で成形したジグザクネットを設置したスチロール容器に移動した。これら幼虫は、背地性を示し、ジグザクネットを登るので、そのネット空間で繭を作らせた。繭(繭内に蛹が含まれている)は一つずつを50mLバイアル瓶に入れ、恒温器内(25℃)で羽化するまで放置した。

2. 2. 試料の調製と観察方法

各成育ステージの外部形態の特徴を写真で記録すると共に、卵、孵化直後の幼虫、幼虫頭部については、実体顕微鏡(Nikon SMZ-10)を用いて拡大観察した。また、5齢幼虫の部位別微細構造を観察するため、幼虫体を0.1Mリン酸緩衝液(pH 7.0)を含む5%ホルマリン溶液に数日間浸漬固定した。蒸留水で十分に洗浄後、内臓を取り除いた後、観察部位を摘出し、風乾した。一方、成虫については、頭部、脚、翅を切り取り、上述したホルマリン溶液で固定・水洗後、風乾した。観察試料はカーボン両面テープで試料ステージに固定し、低真空型走査電子顕微鏡(Hitachi Miniscope TM3030)を用いて、加速電圧5KVで観察した。なお、この走査電子顕微鏡は、従来タイプの機種とは異なり、試料調製が簡単であり、しかも卓上型であり、高校でも使用されている機種である。今後の普及が期待されているものである。

繭糸の観察のため、繭層の徒手切片を作成し、0.01% Toluidine Blue O(和光純薬)で染色し、光学顕微鏡で観察した。

3. 生活環の観察結果と考察

学習者がカイコ飼育に際し、実際に目にする形態的变化や行動的特徴をできるだけ多く写真撮影し、「カイコの一生」を記録した。カイコの生活環を肉眼、光学・走査電子顕微鏡レベルで観察したものを一体化して、「どの成育ステージのカイコの、どの部分を、どの角度から、どの倍率で観察すると、どんな形態が見られるか」を記述した。このような資料教材ははじめてのものである。

カイコはクワ生葉または人工飼料を給餌しなければ、その一生を終えることができず、野外では生存できない。その育ち方は完全変態であり、卵→孵化→幼虫→蛹→成

虫→交配→産卵の生活環を経る。図1に卵から次世代卵ができるまでの成長・発達過程を示した。繭から糸をとるためには、蛹の段階で糸繰りをする必要があり、成虫には至らない。

3. 1. カイコの育ち方

3. 1. 1. 孵化から熟蚕まで

カイコには、①春に孵化した幼虫が成虫になり、それから産卵した卵が翌春まで越冬するもの(休眠卵)、②春に孵化した幼虫が成虫となって産卵し、その卵が同一年に再び孵化するもの(非休眠卵)がある。

本研究で使用した交雑種の卵は休眠卵であり、灰褐色の平たい楕円形(長径:約1.3mm, 短径:約1mm)であった(図2-1)。孵化直後の幼虫は体長2~3mm, 黒褐色を呈し、剛毛で覆われていた(図2-2A, 2B, 2C)。体重は約0.6mgであった。この時期の幼虫は蟻蚕(ぎさん)と呼ばれている。クワ葉を食べ始めると体が急激に大きくなり、体色が薄くなる。孵化後3~4日が経過すると、クワ葉を食べなくなり(この時期を第1眠と言う)、第1回目の脱皮に進んだ。すなわち、第1齢の末期に第1眠があり、脱皮を終えて第2齢(図2-3)に入った。このサイクルを繰り返して第5齢にまで成長した(図1, 図2-4, 5, 6)。脱皮毎に脱皮殻が残されていた(図2-4)。

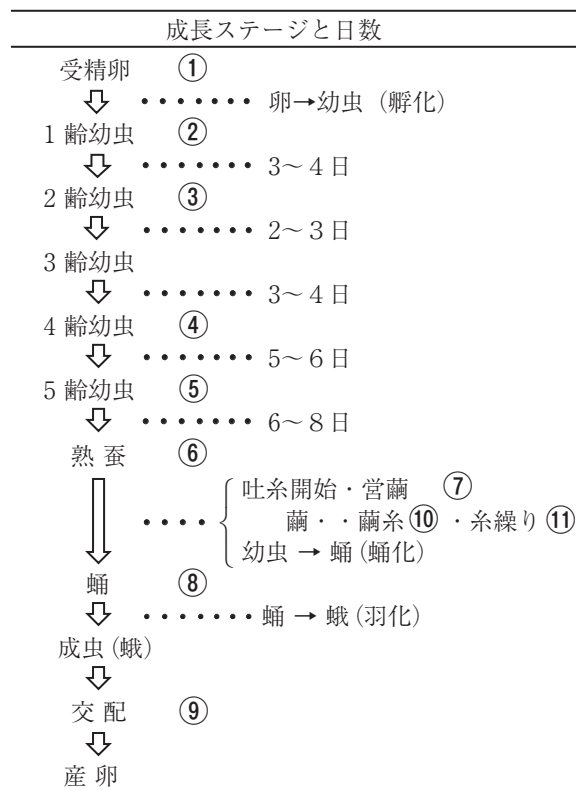


図1 カイコの一生。

図中の①~⑧は図2の1から8に、
⑨は図3に、⑩と⑪は図4に対応する。

5 齢末期の幼虫は体がやや透明になり、餌を食することを止め、飼育容器内を動き回った。この時期のカイコは熟蚕と呼ばれている。蟻蚕から熟蚕までの日数は24～30日であった。体長は約7 cm (体長増加率は25倍) になり、体重は約6 g (体重増加率は1 万倍) にまで達した。

3. 1. 2. 蛹化, 羽化, 交尾

熟蚕を立体化したネットを立てた容器に移すと、そのネット空間に糸を吐いて足場を築き、本格的な営繭(繭づくり)が始まった(図2-7)。形成された繭内で、熟蚕は脱皮(蛹化)して紡錘形の蛹に変わった(図2-8A)。その後、約2週間が過ぎると、蛹から羽化して、成虫(蛾)が繭から出現した。成虫から排出された酵素液で繭層が柔らかくなり、その部分を頭部で押して、そこから脱出した(図2-8B)。しばらくすると、雌の成虫では、生殖器にある誘引腺がしだいに隆起し、数時間後には大きな囊が形成された。そこから性フェロモン(ボンビコール)が放出され、求愛行動をとり、交尾行動が始まった(図3-1, 3-2, 3-3)。成虫の口器は退化しており、全く食することなく、生存期間は最大で10日前後であった。

3. 2. 繭糸の構造

熟蚕は約2日間にわたり頭部を8字運動して、糸を途切れることなく吐き出し、俵状の繭を形成した(図2-8)。その糸の長さは1300～1500mに達するという。糸は2本のフィブロン繊維をセリシンで被覆されたものであり、その断面は‘三角おにぎり’を2つ繋げたような形状であった(図4-1A, 1B, 1C)。すなわち、‘おにぎり’部がフィブロンであり、このフィブロン繊維を接着しているのがセリシンであると知られている⁽¹²⁾。

繭から糸を紡ぐには、繭を80～90℃の熱湯に浮かべ、糸の接着物質であるセリシンを溶かす必要がある。この煮繭により、糸がほぐれて、糸繰りができた。その様子を図4-2に示した。

4. 幼虫の形態的特徴

5 齢幼虫の体は大きく、形態観察に適している。肉眼観察に加えて、実体顕微鏡下でより詳しく観察した。さらに、低真空型走査電子顕微鏡を用いて、外部表面の形態構造を微細に調べた。従来の走査電子顕微鏡では、観察試料を固定→脱水→乾燥→蒸着のプロセスを経て調製する必要があり、極めて煩雑であった。一方、新たに開発された低真空型走査電子顕微鏡では、試料調製工程が大幅に削減でき、光学顕微鏡と同等の試料調製の扱いで手軽に観察できるようになった⁽¹³⁾。本研究では、5 齢幼虫の形態特徴を肉眼観察から走査電顕レベルまで観察倍率を上げて調査した。

4. 1. 外部形態

幼虫の体は細長い円筒状であり、頭部、胸部、腹部に区別される。図2-6、図7-1では、カイコの体は13の体節からなり、頭部に続く3体節の部分が胸部、それ以降の10体節が腹部であることを示している。図2-6、図2-7では、斑紋として、第2胸節に眼状紋、第2腹節に半月紋、第5腹節に星状紋があることを示している。

4. 2. 頭・胸部の形態

頭部は灰褐色の堅いキチンの頭蓋で囲まれていた。頭部に続き、前胸、中胸、後胸の順で3体節があった(図5-1, 2, 4)。それぞれの体節に1対の胸脚があり、その先端に鉤爪があった。クワ葉を食べる際には、左右の胸脚の間に葉片を抱えこみ、葉を保持しながら連続的に咀嚼する摂食行動に役立っていた。頭・胸部とも多数の毛が生えていることが確認できた(図5-4)。

頭部の表面形態は複雑であり、微細な形態構造は肉眼で識別できなかった。実体顕微鏡での観察でも、部分的に識別できる部位—例えば、単眼やギザギザ歯(鋸歯)がある大顎(だいさい)——が認められたが(図5-3)、その他の微細構造については識別できなかった。そこで、走査電子顕微鏡で観察したところ、各部位の形態と分布位置が明瞭に把握でき、教材として初めて明示することができた(図5-4, 図6-1, 2, 3)。頭蓋の両側面には、6個の単眼があり、触角周辺部に局在して分布することが明らかになった(図5-4, 図6-2A, 2B, 3)。頭蓋の腹面にある口器は、図6-3に示したように上唇、大顎、小顎、下唇から構成されていた。上唇は板状で、その下に大顎があり、咀嚼式摂食に関わっていることが知られている。大顎の形状は黒褐色の堅いキチン質で、口腔の前面にギザギザ状の歯が1対あり、その左右運動でクワ葉をかみ切る役割を果たしていた。小顎には、小顎肢と粒状体が存在し、感覚毛と感覚突起がある。小顎肢は摂食促進に関与する器官であり、粒状体は味覚器官として中心的な役割を果たすことが報告されている⁽¹⁴⁾。下唇の中央部に1本の吐糸管が突き出ていることが観察された。熟蚕期になると、幼虫体内に存在する1対の絹糸腺で別々に合成された液状絹が、前部糸腺の先端部で合流し、1本の繭糸として吐糸管から吐き出される⁽¹²⁾。尚、吐糸中のカイコの様子を図2-7に示した。

触角は、図6-3に示したように左右の大顎の側に位置し、その先端部には長短2本の感覚毛と3～4本の突起があり、嗅覚受容器であると想定されている⁽¹⁵⁾。

4. 3. 腹部の形態

胸部に続き、10体節からなる腹部を示している(図7-1)。第3～6節には1対ずつの腹脚があり(図7-1C)、第10節には1対の尾脚があった(図7-1D, 図8-4)。第

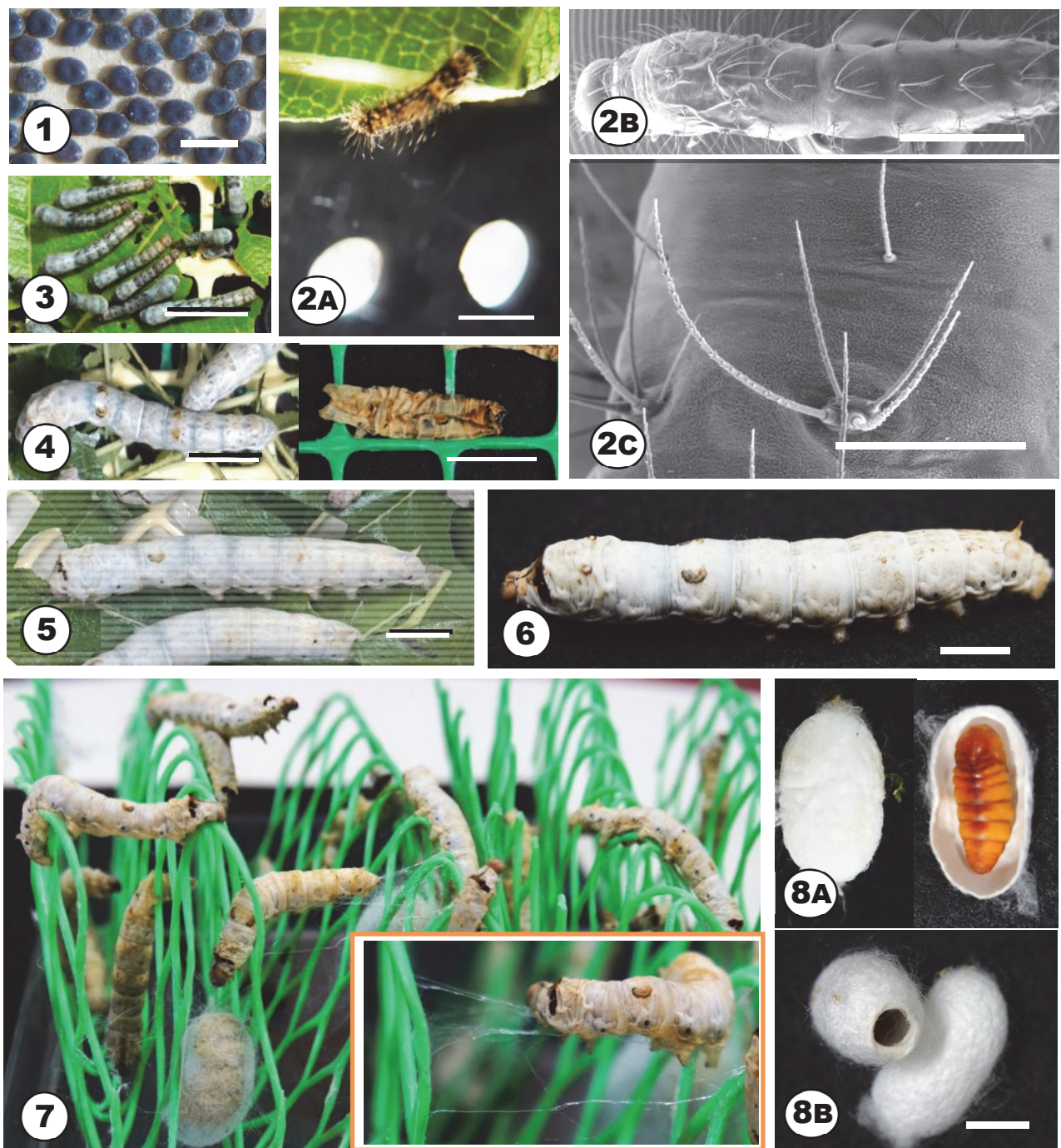


図2 カイコの生活環（孵化から蛹化まで）.

1, 休眠卵. bar = 2 mm.

2, 蟻蚕. (A) 蟻蚕と孵化後の卵（白色の楕円体）bar = 1 mm. (B) 蚕体の微細形態. bar = 1 mm.
(C) 皮膚表面を覆う剛毛. bar = 250 μ m.

3, 2 齢幼虫. bar = 1 cm.

4, 4 齢幼虫と脱皮殻. bar = 1 cm.

5, 5 齢幼虫. bar = 1 cm.

6, 熟蚕. bar = 1 cm.

7, 営繭初期のカイコ. 立体ネットの空間で繭形成の足場づくりをするカイコ（枠内）.

8, 繭と蛹. (A) 繭内の蛹. (B) 羽化した成虫が出るときにできた繭層の穴. bar = 1 cm.

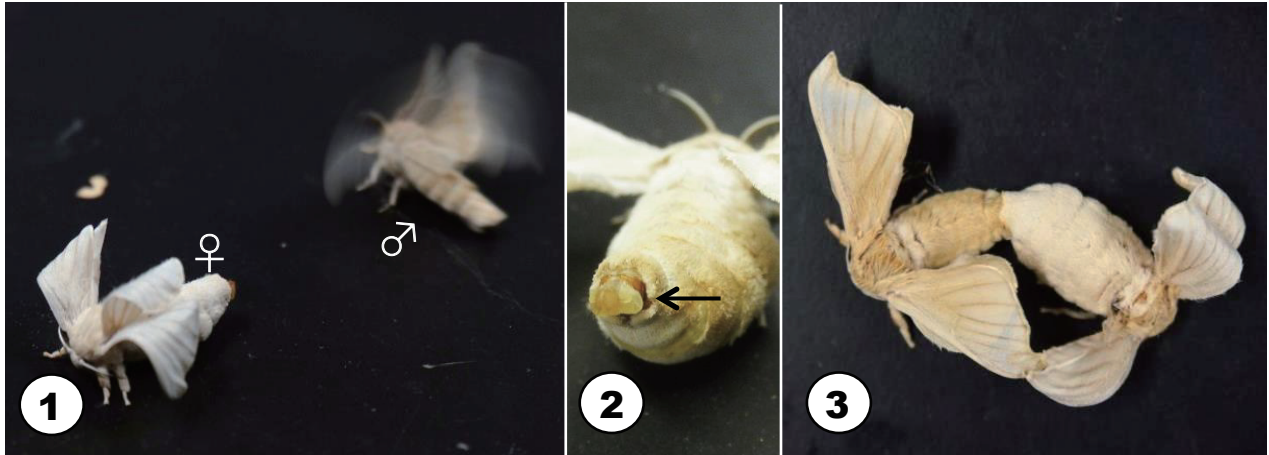


図3 カイコの生活環（羽化と交尾行動）.

1, 求愛行動する成虫；2, 雌の生殖器と肥大化した誘引腺（矢印）；3, 交尾した雌雄個体.

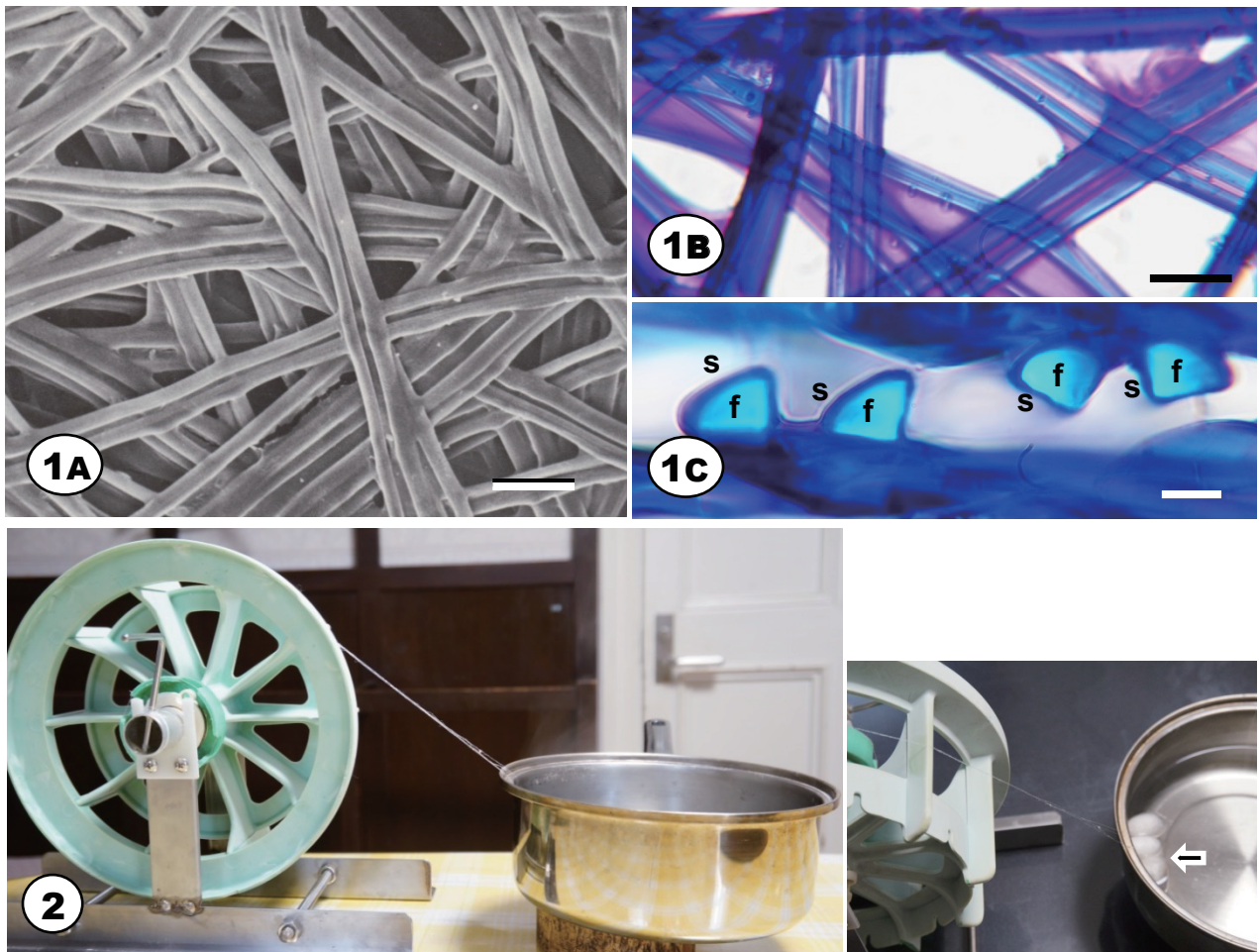


図4 繭糸（構造・糸繰り）.

- 糸の構造. (A) 繭層を形成する糸. bar=200 μm . (B) トルイジンブルーで染色した繭糸. bar=100 μm . (C) トルイジンブルー染色の繭糸断面. フィブロイン繊維(f)が内部にあり, その表面をセリシン(s)が覆っている. bar=20 μm .
- 繭からの糸繰り. 熱湯水を入れた容器に繭（矢印）を浮かべ, 繭からほぐれた糸を糸繰機の回転盤につけた後, それを回転させて繭糸を紡ぐ.

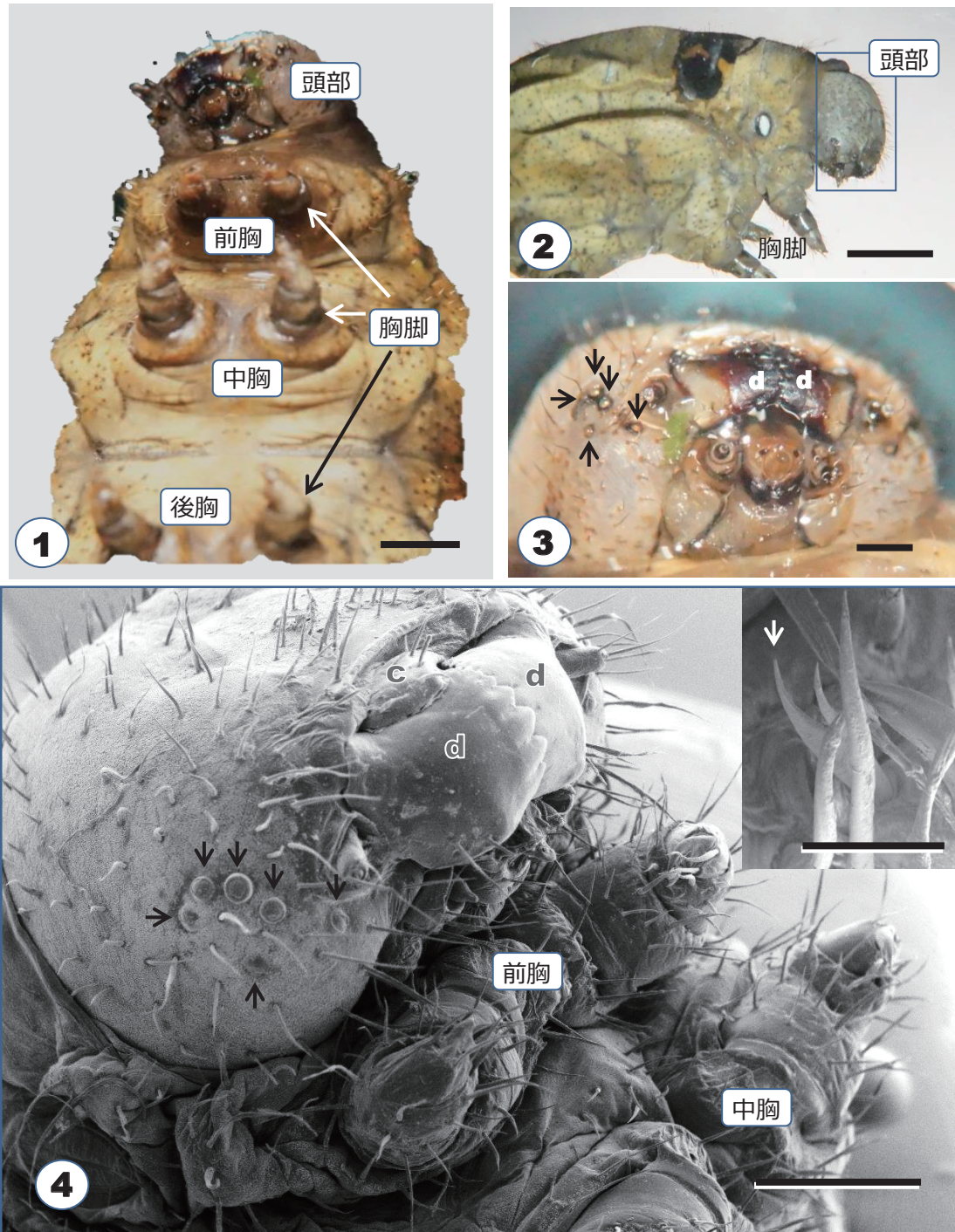


図5 頭・胸部の形態.

- 1, 腹面から観察したときの頭・胸部. bar=2mm.
- 2, 側面から見た頭・胸部. bar=5mm.
- 3, 頭部の口器周辺部. bar=500 μ m. 矢印は単眼を示し, 黒褐色を呈し左右の大顎(d)がかみ合った状態.
- 4, 頭部と前・中胸部. bar=1mm. c, 上唇. d, 大顎. 矢印は単眼. 枠内は胸脚の先端部にある鉤爪(矢印). bar=150 μ m.

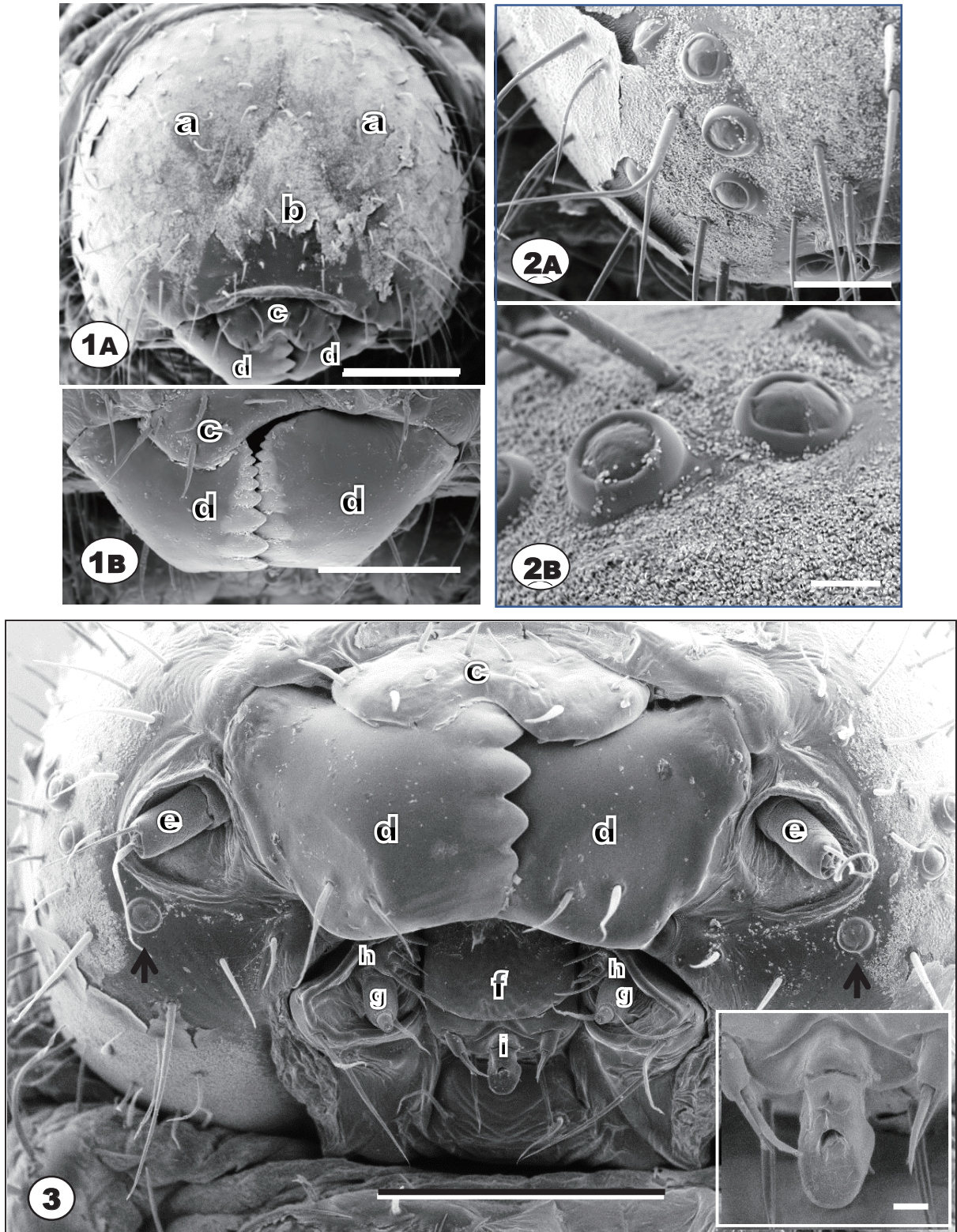


図 6 頭部の形態.

- 1, 背面から観察した頭部. (A) 全体像. bar = 1 mm. (B) 大眼. bar = 500 μ m.
- 2, 単眼. (A) 3 単眼の配列. bar = 250 μ m. (B) 表面が平滑な単眼の形態. bar = 100 μ m.
- 3, 腹面から観察した口器周辺の微細形態. bar = 1 mm. 枠内は吐糸管を示す. bar = 50 μ m.
a, 頂板. b, 前頭. c 上唇. d, 大眼. e, 触角. f, 下唇. g, 小顎部にある小顎肢. h, 小顎部にある粒状体.
i, 吐糸管. 矢印は単眼を示す.

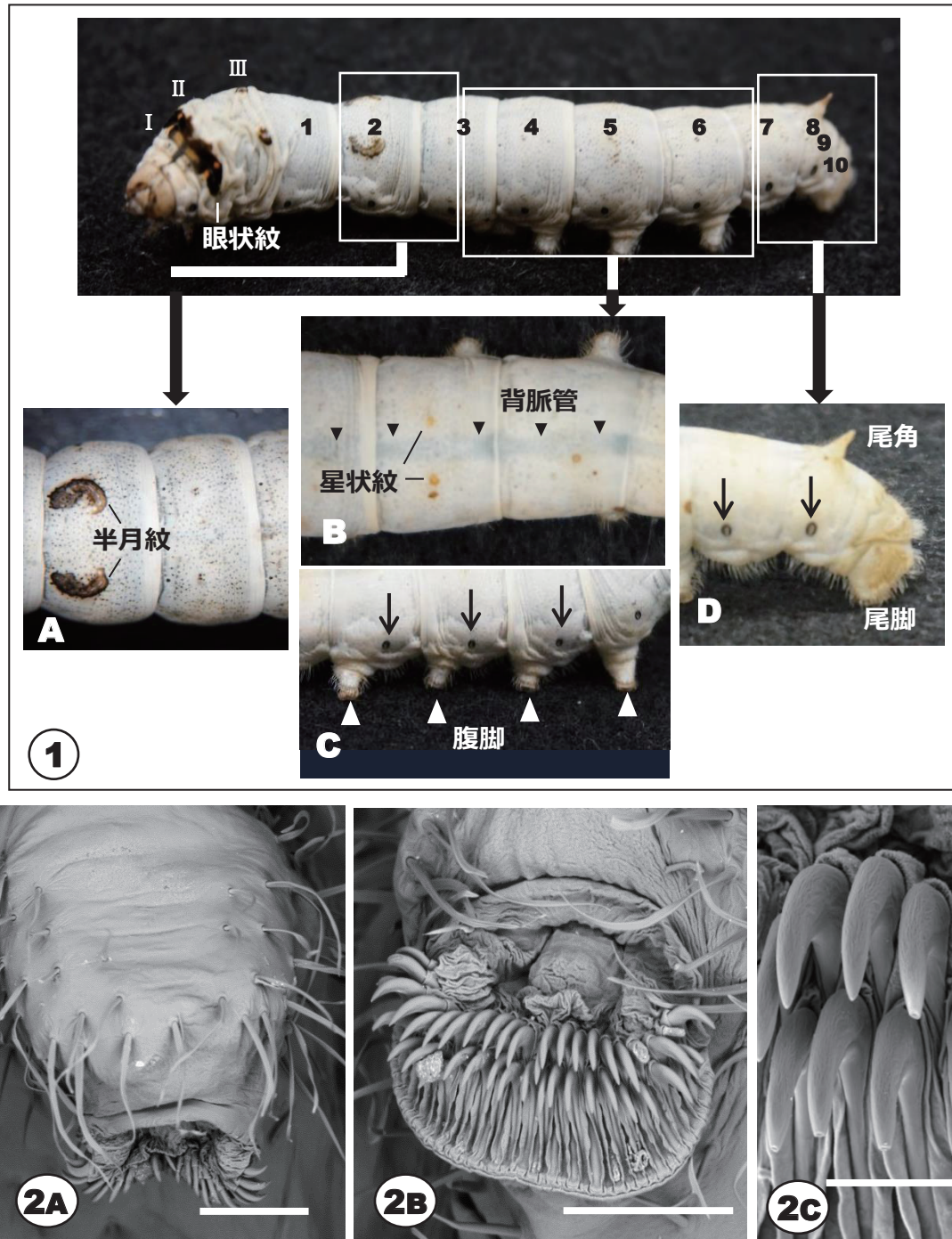


図7 腹部の形態と腹脚.

- 1, 腹部全体像. 胸部体節をⅠ～Ⅲで, 腹部体節を1～10の番号で表示. 第2胸節には眼状紋がある. (A) 背面にある半月紋. (B) 背面中央を走行する背脈管 (▼) と星状紋. (C) 側面から見た腹脚 (▽) と気門 (矢印). (D) 腹部の末端部ある尾角と尾脚. 矢印は気門.
- 2, 腹脚の構造. (A) 側面から見た腹脚. bar=500 μm. (B) 先端部の裏に分布する鉤爪. bar=500 μm. (C) 鉤爪形態. bar=100 μm.

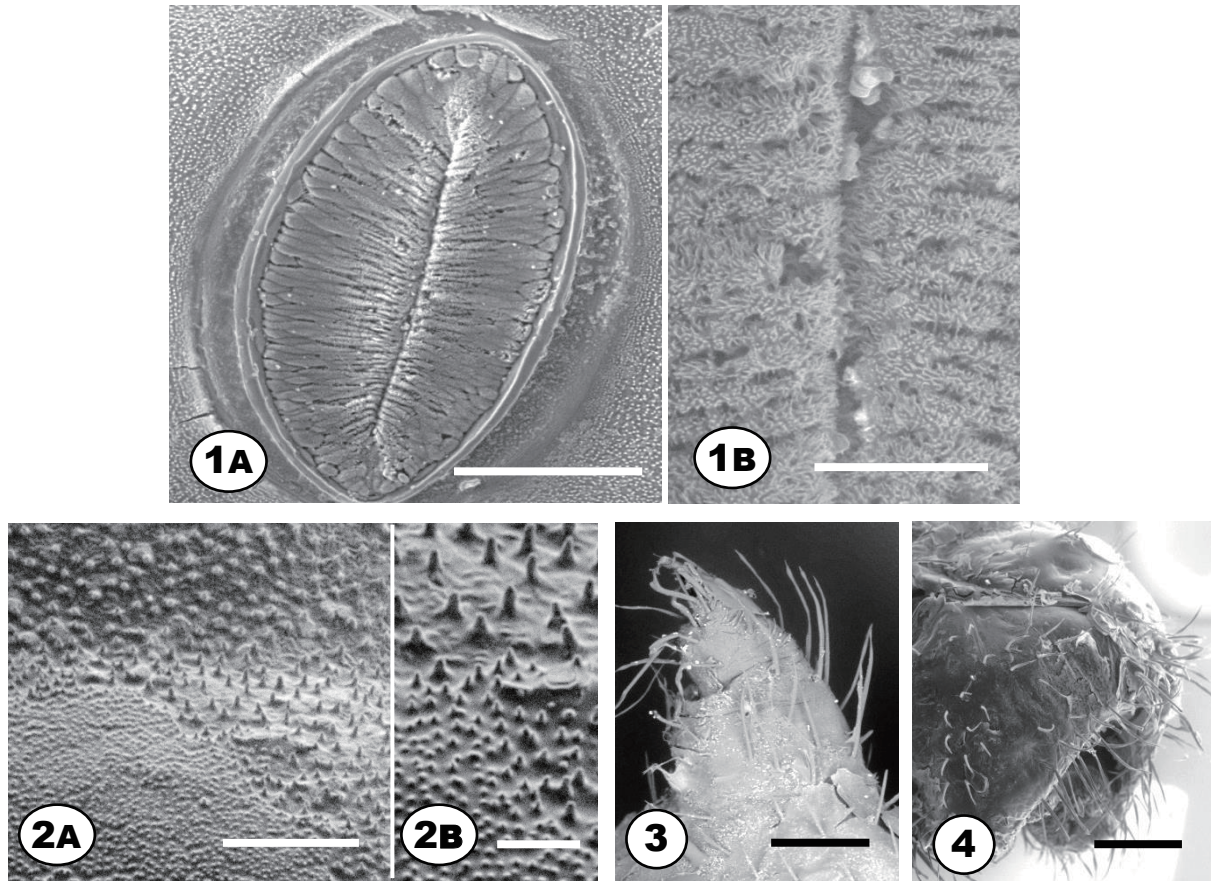


図8 気門，半月紋と末節部の形態.

- 1, 気門. (A) 外縁綫を持つ楕円形の気門. bar = 250 μ m. (B) 気門の樹状フィルター構造. bar = 50 μ m.
- 2, 半月紋の表面形態. (A) 斑紋部の皮膚は密なブツブツ突起で覆われ、斑紋のない周辺皮膚には三角錐突起物が存在する. bar = 50 μ m. (B) 皮膚にあるブツブツ突起と三角錐突起. bar = 10 μ m.
- 3, 尾角. bar = 500 μ m.
- 4, 腹部第10節の末端部. bar = 1 mm.

2腹節背面には、ひらがなの‘い’の字に似た黒色の半月紋があり（図7-1A）。その斑紋部の皮膚面を観察すると、ブツブツ状突起が緻密に存在するが、その周縁皮膚はその密度が疎になり、三角錐状突起物が存在していることを確認した（図8-2A, 2B）。第8腹節背面には1個の尾角があった（図7-1D, 図8-3）。

腹脚は円柱状で、先端はやや肥大化した円盤状であった。脚裏を観察すると、その外縁部は半環状の黒色キチン帯があった。図7-2A, 2B, 2Cは、その内縁部に多数の鉤爪が外側に向かって密生していることを明瞭に示している。鉤爪は、クワ葉などの物体につかまり、水平・上下方向の自在行動、繭形成の足場確保の動きに役立っていると考えられる。鉤爪は、これまでスケッチで示されたものしかなく、写真での提示は初めてである。

気門（空気の取り込み器官）は、第1胸節に加えて、第1腹節～第8腹節の各体節に1対ずつあることを確認することができた（図7-1C, 1D）。その外周部は楕円形の黒色を呈する気門輪によって囲まれており、内部は板

状物が張りつめられたように観察され、中央部には直線状の隙間が認められた（図8-1A）。その板状構造を詳細に観ると、多数の樹状ネット群が平行に配列された構造が観察され（図8-1B）、防塵装置の役割を果たしていると考えられる。このように、形態構造とその機能を関連づけて考察することは、学習者の探求心を醸成するきっかけになると考えられる。

腹部背面の皮膚の真下には背脈管が走行しており、皮膚を通して透けて見えた（図7-1B）。背脈管の膨張・収縮によって体液は後方から前方へ送られる。この鼓動は、尾角に近い背脈管を観察すると目視できた。また、背脈管のある皮膚部を触れることにより、脈を数えることもできた。この方法は、あまり知られていないが、肉眼と接触で認識できるものであり、循環器系の学習において幅広い実践が期待できる。

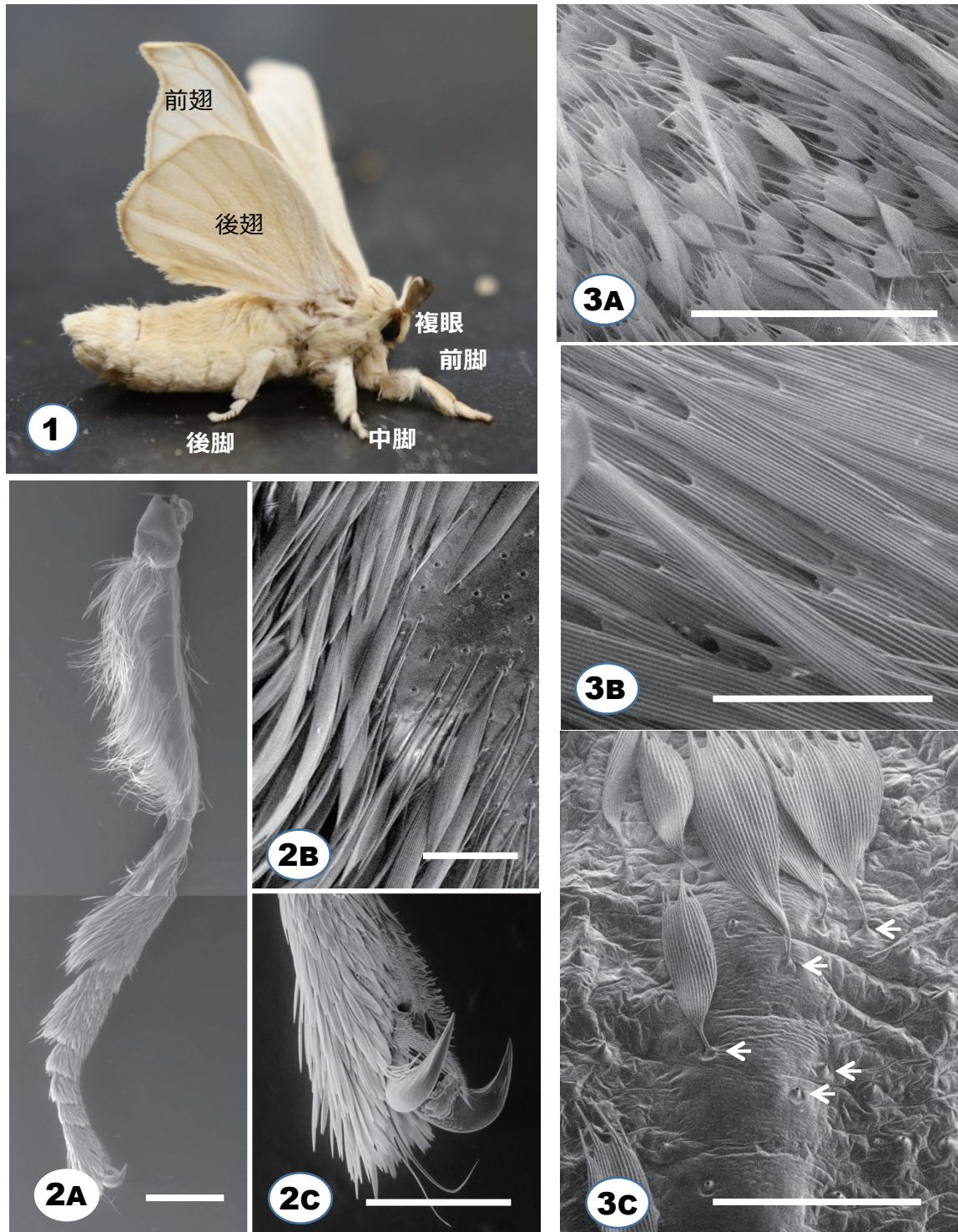


図9 成虫(蛾)の形態.

- 1, 蛾の全身像.
- 2, 脚の構造. (A) 全体像. bar=1 mm. (B) 脚に分布する鱗片. bar=50 μ m.
(C) 先端節にある鉤爪. bar=500 μ m.
- 3, 翅の鱗片形状. (A) 紡錘形鱗片. bar=500 μ m. (B) 細帯形鱗片. bar=100 μ m.
(C) 葉形鱗片と隆起穴ソケット (矢印). bar=150 μ m.

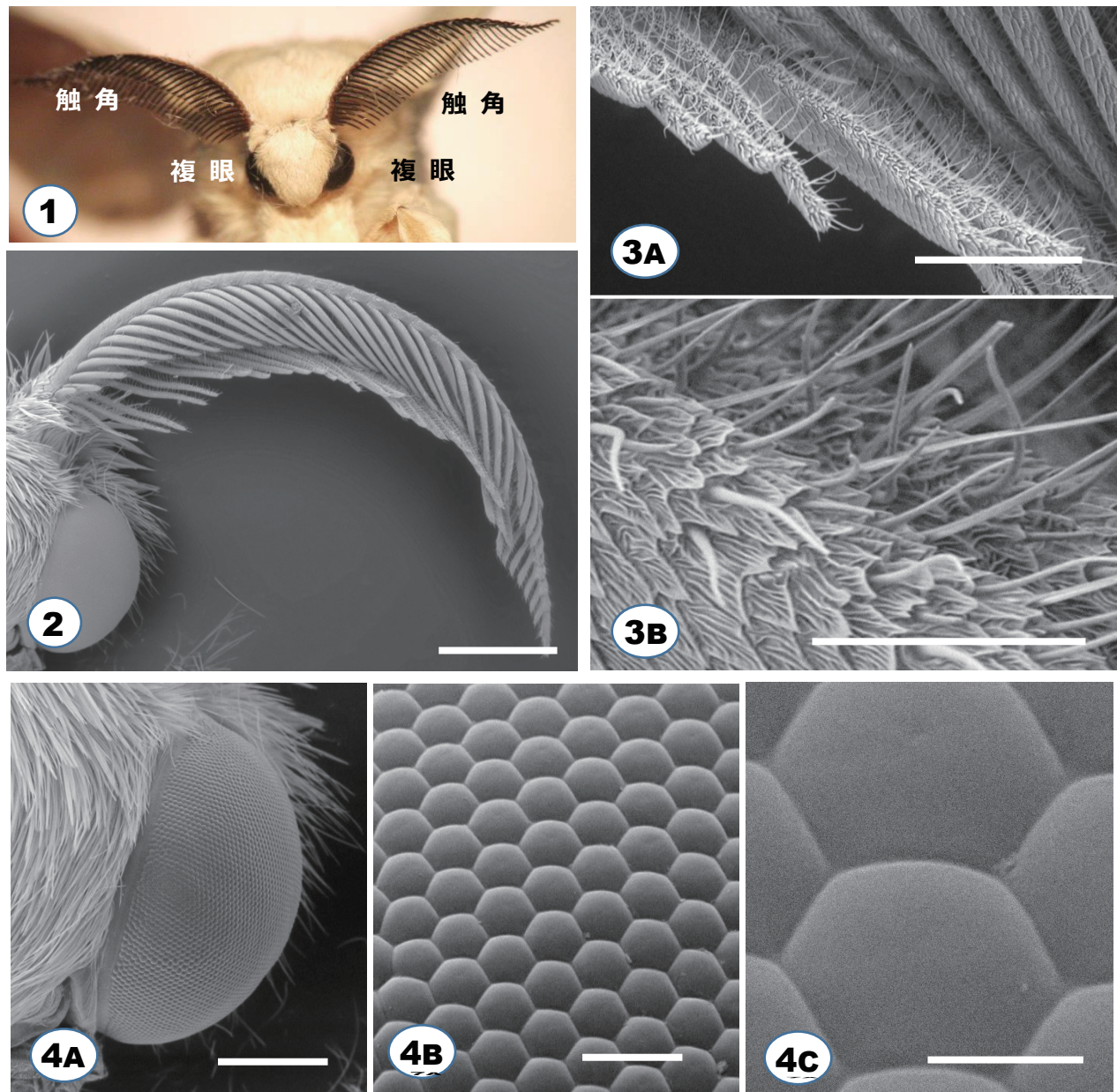


図10 カイコ成虫(蛾)の頭部形態.

- 1, 正面から見た頭部.
- 2, 触角とその直下にある複眼. bar = 1 mm.
- 3, 触角の構造. (A) 触角を構成する小枝構造. bar = 250 μ m. (B) 小枝構造に分布する繊毛. bar = 50 μ m.
- 4, 複眼の構造. (A) 側面から見た複眼. bar = 500 μ m. (B) 複眼を構成する正六角形の小眼配列. bar = 50 μ m. (C) 小眼の拡大像. bar = 15 μ m.

5. 成虫(蛾)の形態的特徴

5.1. 外部形態

蛾は頭部、胸部、腹部からなり、全身が鱗片で覆われていた。頭部の両側面には羽状の触角が1対存在し、その基部下方には黒色で大形の複眼が観察された(図9-1)。胸部は前胸、中胸、後胸に分かれて、各体節に1対の前脚、中脚、後脚があった(図9-1)。中胸の背面に

は1対の前翅があり、後胸の背面からは1対の後翅が出ていた。腹部の末端には、生殖器が観察された。

5.2. 胸部の形態

胸脚は5節からなり、基節で中胸または後胸に付いていた。先端の節には、2本の鉤爪が突出し、その周辺部は多数の細帯状鱗片で覆われていた(図9-2A, 2B, 2C)。

中央部の節では、鱗片は外側面に密生し、内側面にはほとんどなかった（図9-2A）。

翅の表面は鱗片で覆われており、軽い接触でも容易に離脱した。その形態は、翅の部位により異なり、細帯状、紡錘状、葉状の外見であった（図9-3A, 3B, 3C）。いずれの鱗片も、先端部が2～5カ所の切れ込みがあり、縦縞が平行に走行していた。基部は円筒状に収斂し、隆起穴に刺さるように付着していた。

5.3. 頭部の形態

触角は主幹から小枝状構造が左右に広がった櫛状体であり、その表面は無数の繊毛で覆われた嗅覚受容器^(15, 16)であると観察できた（図10-1, 2, 3A, 3B）。

複眼は明暗の変化、物体の形状や色彩の識別する視覚器であり、図10-4A, 4B, 4Cに示したように、その表面には、多数の正六角形の小眼（個眼）が蜂巢状に並んでいた。

なお、走査電顕観察については、「昆虫の表面構造」が出版されているが⁽¹⁵⁾、本稿で示した器官・組織・部位の同定およびそれらの名称は、同書に従って記載した。

6. おわりに

本研究では、カイコの全成育過程（成長・変態・脱皮・生殖）にわたり、体のつくりの変化を、異なる倍率で、様々な角度から観察した。これまで、教材として利用することを念頭に、カイコの一生を写真で報告したものは少なく、本研究で示した“目で見えるカイコの育ち方と体のつくり”はカイコを実験教材として取り上げる際に必要となる基本資料であり、飼育・観察・課題設定・探求指導などに資することができる。本報は、肉眼からミクロ視野レベルまでを一体化して、カイコの生活環で起こる形態変化を体系的に教材化したものであり、初めての取り組みである。

カイコを飼育した児童・生徒や教員から、種々な感想や疑問が寄せられるが、初歩的なものに加えて、発展的な疑問まで含まれている。例えば、

- Q1 どのようにしてクワ葉を食べているのか。口や歯はどんな形をしているのか？
- Q2 カイコは葉や葉軸をつかんだり、葉の上を動くことができるが、脚の裏はどうなっているのか？
- Q3 クワ葉であることをどこで見分けるのか？
- Q4 どこから空気を取り入れて呼吸しているのか？
- Q5 脱皮した殻はどんな形をしているのか？
- Q6 繭から蛾が出る穴はどのようにしてできるのか？
- Q7 繭の役割は何か？
- Q8 雄の蛾は雌の蛾がいることをどこで知るのか？
- Q9 絹糸はどこから吐き出されるのか？

Q10 なぜ、カイコ蛾は飛ばないのか？

Q11 モンシロチョウ・トンボ・カブトムシとの違いはどこか？ などである。

これらの諸疑問にも応えられるように、走査電子顕微鏡による微細な形態的特徴についても観察した。肉眼観察で生じた疑問が、よりミクロなレベルで具体的に理解でき、学習の深化に役立つことを期待している。また、教員が本報を参考にして、教員自身が新しい教材を開発することも期待される。

謝辞

低真空型走査電子顕微鏡観察は、(株)日立ハイテクノロジー関西アプリケーションラボラトリーで行われたものであり、同社関西支店の久保太乙氏および上村健氏から種々の便宜と技術指導をいただきました。感謝申し上げます。また、複数年に亘り、カイコ飼育の授業実践をされたご経験があり、教育現場からの種々の情報や課題・問題点をご教示いただいた京都市立安井小学校 濱千尋先生にお礼申し上げます。本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究C課題番号16K01018）の助成を受けて行われました。

引用文献

- (1) 山野井貴浩・大阪里奈・及川貴也（2015）昆虫の体のつくりの理解を促すとともに進化的視点から考察を行う機会を提供する生物教材の開発—アリとアリモグラの比較を通して—。科学教育研究, 39. pp.367-379.
- (2) 東京都教育委員会（2016）平成28年度「児童・生徒の学力向上を図るための調査報告書。第1章「児童・生徒の学力向上を図るための調査」（小学校）pp.14-15.
- (3) 松森靖夫・佐藤寛之・望月 文（2014）チョウの生活環と生活様式に対する小学校教員志望学生の認識状態について—Cinici（2013）の調査問題を参考にして—。山梨大学教育人間科学部紀要, 16. pp.157-165.
- (4) 森本弘一（2014）大学生の鱗翅目昆虫の生活環に関する認識。生物教育, 54. p.171.
- (5) 川上昭吾・荒川（佐藤）尚美（1997）小学校第3学年の昆虫の学習に関する総合的研究。愛知教育大学教科教育センター研究報告, 21. pp.161-166.
- (6) 森本弘一・岩地晶恵・田中裕子（2002）生活科におけるカイコの教材としての可能性。奈良教育大紀要, 51. pp.61-67.
- (7) 鈴木隆司（2006）生活科教育法における飼育活動の授業研究。千葉大教育学部研究紀要, 54. pp.93-98.
- (8) 富山哲之（2010）生活科教材としてのカイコの飼育に関する一考察。長崎大教育学部紀要 教科教育学, 50. pp.41-50.
- (9) 日本蚕糸学会教育・研究用カイコ供給システム検討ワーキング・グループ（2006）カイコの教育・研究利用の現状—アンケート調査結果より—。蚕糸・昆虫バイオテク, 75. pp.123-127.
- (10) 森 精（1970）カイコによる新生物実験—生物科学の展開—。三省堂. pp.1-448.
- (11) 森 精・浜野国勝・土井良 宏・河口 豊（1995）カイ

- コと教育・研究. (森精 編) (株)サイエンスハウス, pp.1-178.
- (12) 赤井 弘 (2013) ミクロのシルクロード. (公財)衣笠繊維研. pp.26-35.
- (13) Katayama, H., Banba, N., Sugimura, Y., Tatsumi, M., Kusakari, S-I., Oyama, H. and Nakahira, A. (2013) Subcellular compartmentation of strontium and zinc in mulberry idioblasts in relation to phytoremediation potential. *Environ Exp Bot*, 85. pp.30-35.
- (14) 朝岡 潔・佐々木 謙 (2011) 昆虫の味覚と摂食行動の神経基盤. 蚕糸・昆虫バイオテック, 80. pp.151-162.
- (15) 赤井 弘 (1976) 昆虫の表面構造. 学会出版センター, pp.5-109.
- (16) 神崎亮平 (2014) サイボーグ昆虫, フェロモンを追う. 岩波書店. pp.47-54.