

実験昆虫としてのエビガラスズメ

信州大学繊維学部 教授

木口 憲爾 (Kiguchi, Kenji PhD)

タバコスズメガ及びエビガラスズメとの出会い

もう30年以上も前のことであるが、当時、米国ハーバード大学のWilliams教授の研究室から、タバコスズメガ (*Manduca sexta*) という昆虫を使った幼虫の脱皮リズムに関する見事な研究論文が相次いで発表され、昆虫生理学者の注目を集めていた。Williams教授は、セクロピアサンという野蚕の一種を使い、蛹休眠の内分泌制御機構を明らかにしたことで知られる世界的に著名な昆虫生理学者である。そのWilliams教授から蚕糸試験場長に、「今後は大量飼育が可能なカイコを研究材料に使いたいのでカイコの卵と人工飼料を提供して欲しい」という趣旨の要望があり、当時の場長・横山忠雄博士は蚕糸業法を理由に丁寧にお断りになったと伺っている。その後、Williams教授がセクロピアサンに代わる実験昆虫として目を向けたのが、どうやらタバコスズメであったようである。ハーバード大学で実際にタバコスズメガの大量飼育と脱皮リズムの研究に取組んだのは Lynn Riddiford と James Truman という新進気鋭の研究者で、お二人はその後 1973年にワシントン大学動物学部に移られ、タバコスズメガを用いて新たな昆虫内分泌研究の拠点を築かれた。

当時、私は農林省蚕糸試験場生理部でカ

イコを用いて内分泌研究に取り込んでおり、タバコスズメガにひどく興味をそそられた。いろいろ調べているうちに、石崎宏矩名大教授の書かれた総説の中に「タバコスズメガはエビガラスズメの近縁種で…」という記述があることに気づき、タバコスズメガは日本にはいないが、その近縁種のエビガラスズメなら日本にも広く生息する昆虫であることを知った。

なんとかタバコスズメガを見てみたいと願っていた私は、その後、ワシントン大学動物学部Riddiford教授の研究室に博士研究員として留学する幸運に恵まれた。1年間この虫と付き合ううちに、タバコスズメガは他の昆虫にはない様々な特徴をもっており、カイコの比較対象昆虫として重要な昆虫であると確信した。それから10数年を経た1988年、蚕糸試験場が蚕糸・昆虫農業技術研究所と改組され、研究対象もカイコに限らず、昆虫及び無脊椎動物一般に拡大された。比較生理学的研究の必要性を痛感していた私は、迷うことなくタバコスズメガの近縁種エビガラスズメを実験昆虫化してみようと思い立ったのである。

ところが、それまでエビガラスズメは見たこともない。図鑑を調べてサツマイモの害虫であることを知り、研究所付近の農家のサツマイモ畑を巡ってみた。他人の畑の中に踏み入る訳にもいかず、畑のへりを

回りながら途方に暮れた。その時に思っていたのが友人、樽本勲氏であった。彼とは農林水産技術会議事務局勤務時代に知り合い、気心の知れた研究調査官仲間であった。その後、彼は農業研究センターに戻り甘しょ育種研究室長を務めていたのを思い出したのである。早速電話したところ、「その虫ならいるわ。ちょうど今、パートの小母さん達に収穫作業をしてもらっているから、なんとかやるよ」というのではないかなんという幸運。「虫一匹見つけてくれたらビール1本だすよ」と藁にすがる思いで頼み込んだその翌日だった。「ビール1ダース持ってきて」という電話に小躍りし、農業研究センター谷和原圃場に飛んで行った。こうして初めてエビガラスズメの幼虫と蛹に出会ったのである。1989年の9月のことであった。

通年飼育体系の確立

ちょうど収穫期であったことが幸いだった。最初の日には10数匹であったが、翌日から数10匹単位で集まりだし、約2週間で合わせて約350匹の幼虫と蛹を手に入れることができた。持つべきは友人。研究仲間の有難さに感謝感激したのはいうまでもない。早速、集めてもらった幼虫と蛹を飼育しているうちに、寄生蠅と寄生蜂に侵されている個体が多いことに驚かされた。傷や病気で死んだ個体と合わせて80%弱が羽化前に致死し、残った健全な成虫は約70匹であった。今も継代しているエビガラスズメのコロニーはすべてこの時の70匹に由来しており、病虫害感染の恐れもあって途中で野外の系統を導入することなく今に至っている。

さて、年間を通じていつでも実験に使えるようにするには、解決すべき重要な課題が2つあった。室内採卵法と人工飼料の開発である。カイコでは雄と雌の蛾がそれぞれ1匹いればいとも簡単に交尾し産卵するが、スズメガは野生の昆虫で簡単には交尾しない。失敗続きの試行錯誤の末、図1に示すような産卵箱で採卵できることが分かった。やっかいなのはサツマイモの生葉がないと産卵しないことであるが、この点は共同研究者の霜田政美氏により、サツマイモ葉のアルコール抽出液を用いた人工採卵器が開発され、冬でも安定して採卵することが可能になった。もう一方の技術的課題である人工飼料の開発は、カイコの人工飼料組成を参考に容易に達成された。また有難いことに、その後、リンゴやタン



図1 エビガラスズメの採卵箱

ポポも食べる広食性蚕品種向けに開発された安価で桑の乾燥粉末を含まない人工飼料が市販された。この人工飼料に5～10%のサツマイモ葉乾燥粉末を加えるだけで良く食べ良く育ち、飼育は容易で、かつ大幅に省力化・低コスト化を図ることができ、実験昆虫としての基盤を確立することができた¹⁻⁶⁾。

実験昆虫としてのメリット

以上述べた飼育体系下におけるエビガラスズメのライフサイクルを図2に示した。卵期はほぼ4日で、孵化から終齢（5齢）幼虫までは概ね12～14日、5齢脱皮からワンダリング開始までは5～7日で、発育経過はタバコスズメガとほぼ同様であり、幼虫、蛹及び成虫の形態や大きさも良く似ている。著者らのこれまでの経験から、エビガラスズメは、1）大型昆虫であるため解

剖その他の実験操作がし易く、かついろいろな外科的手術によく耐える、2）大量飼育が可能であるため分析用の試料を大量に集めることができる、3）ライフサイクルが約42日で、比較的短いため年8世代の飼育が可能であり、5）一定の温度・光条件のもとで幼虫の脱皮時期に日週性がみられ、発育がよくそろそろ、等の利点を持っている。さらに、6）近交弱勢が見られないことを上げることができる。カイコなどの動物ではそうであるが、近親交配を長く続けると、大きさや、耐病性、産卵性などの生活力が著しく低下するのが普通である。ところが、エビガラスズメは、1989年につくばの谷和原圃場で捕まえてもらった70匹の虫からスタートし、かれこれ20年もの間、野生の系統を導入していないにも関わらず、特段の形質劣化が見られないのである。何らかの雑種性を維持するメカニズムがあるに違いない。もう一つ強調したいこととして、7）タバコスズメガ及びカイコの比較対象昆虫としての有用性を上げたい。エビガラスズメは、欧米ですでに実験昆虫として重要な位置を占めているタバコスズメガの近縁種であるため、タバコスズメガで得られている研究蓄積の多くを直接・間接的に利用できる。一方、両スズメガとカイコは、ともに大型鱗翅目昆虫で、栄養・発育生理などの多くの面で共通性があり、カイコに関する膨大な研究蓄積もまた両スズメガの研究に役立つ。これもまた大きなメリットの一つといえよう。

研究の現状

実験昆虫としての有用性を発揮するためには、研究の裾野を広げ、研究情報の蓄積

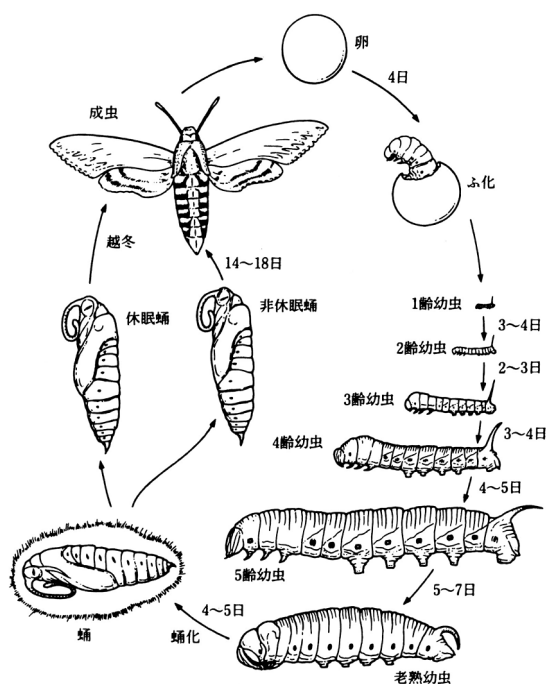


図2 エビガラスズメのライフサイクル（人工飼料育、25℃）

を図る必要がある。このため、信州大学繊維学部の他、(独) 農業生物資源研究所、東京農工大学でそれぞれコロニーを維持しながら、東京大学、鳥取大学、神戸大学、名古屋大学等へ実験材料として提供したり、共同研究を行ったりしている。これまで、幼虫の発育特性、蛹の休眠性、成虫の行動特性など実験昆虫として利用していく上で不可欠な基礎的知見の集積に努めるとともに、カイコと比較対照しつつ生体機能解析研究を進めてきた。エビガラスズメで得られている主な成果を参考文献として上げておくので、関心のある方はご覧いただきたい⁷⁻¹⁸⁾。

一昨年、日本学術振興会から「新実験昆虫エビガラスズメの研究の現状と発展可能性に関する研究」という課題で科学研究費補助金〔基盤研究 (C) (企画調査)〕を受け、東京で「日米ジョイントセミナー」を開催した。このセミナーにはワシントン大学のLynn Riddiford 及びJames Truman 両教授の他、日本でエビガラスズメを研究材料として使用したことのある研究者総勢30名に参加してもらい、エビガラスズメ研究の実績と可能性について論議した。Riddiford, Truman 両教授及び比留間潔先生 (弘前大学農学生命科学部教授) からはタバコスズメガを用いた研究の現状が紹介された。私からエビガラスズメの実験昆虫化の意図と研究経過について紹介した後、神崎亮平先生 (東京大学先端科学技術研究センター教授) からは「蛾の感覚-運動系解析のための生物工学的アプローチ」と題して講演していただいた。多くの基礎的研究は、ゲノムが明らかになりかつ遺伝子導入技術が確立されているカイコを用いて行

い、飛翔実験を伴う研究はエビガラスズメを用いているという。白井孝治先生 (信州大学繊維学部助教) からは「エビガラスズメ幼虫の真皮細胞カルテノイド結合タンパク質 (eCBP) の発現調節」と題して研究の進捗状況が報告された。eCBP は幼若ホルモン (JH) の消長に反応して合成・分解・組織間移動すると考えられる色素結合タンパク質で、JH の作用機作との関連で我々がもっとも興味をもっている研究課題の一つである。最後に片岡宏誌先生 (東京大学大学院新領域創成科学研究科教授) からは、「カイコ、タバコスズメガ及びエビガラスズメを用いたエクダイソン合成の調節制御」についてご講演いただいた。得られた成果の大半はカイコからであるが、3種の昆虫を用いることにより、前胸腺刺激ホルモンの分子多様性が明らかになるなど、比較生理・生化学的な観点で意義があるという指摘があった。その後の総合討論では、実験昆虫としてのエビガラスズメの意義は、我々が当初意図したとおり、カイコの比較対象昆虫としての利用を図ること、並びに強い飛翔力などカイコにはない特有の生体機能を利用した解析研究を進めることにあることを再確認・再認識した。

以前に、昆虫生理・生化学・薬理学大全 (前13巻)¹⁹⁾ という専門書に記載されている昆虫種の引用頻度に基づいて、1985年当時の実験昆虫のベスト5を調べたことがあった。No. 1 はショウジョウバエで、以下、ワモンゴキブリ、トノサマバッタ、タバコスズメガ、カイコの順であった。ショウジョウバエは当時も今も「実験昆虫」「実験動物」というよりは「実験生物」のNo.1ともいえるべき確固たる地位を占めていることは疑い

ない。カイコはその後ゲノム解読がほぼ完了した上、遺伝子導入技術が開発され、かつ導入遺伝子の発現制御技術が確立されつつあり、喜ばしいことにいまやショウジョウバエに次ぐ実験昆虫No.2の地位にあるとみて差しつかえないであろう。加えて、微小なハエと違って大型の経済昆虫であることから、トランスジェニックカイコを用いた新機能性絹糸生産や有用物質生産系としての応用が実現化しつつあり、ますますカイコへの期待が高まっている。しかしながら、それぞれの昆虫は夫々の生存戦略を持っている。カイコではなし得ない実験系を工夫して、カイコにはない生体機能を解明することは、取りも直さずカイコをより良く理解することに繋がるであろう。実験昆虫としてのエビガラスズメの意義もここにあり、こうした観点から、現在、我々の研究室ではカイコとエビガラスズメの通年飼育体系を維持し、両者を使い分けつつ昆虫生体機能の解析研究を進めている。

エビガラスズメが宇宙食に？

最後に、エビガラスズメが、いつか遠い将来、宇宙食のメニューの一つに加えられるかもしれないという夢のような話を紹介したい。日本宇宙工学研究所の山下雅道先生は、地球外天体上での有人活動を視野に入れて、火星で農業を可能とする宇宙農業システムを構想するプロジェクトを立ち上げ、「宇宙農業サロン」という研究会を主宰している²⁰⁾。具体的には火星で現地調達型の農業の可能性を追求しようとする試みで、当面の課題は穀類や野菜の栽培を可能とする条件を明らかにすることであるが、一方で、考え得る食材を組み合わせで栄養

学的要求を満たす宇宙食を試作し、試食会を開催している。課題の一つは、如何にして動物性タンパク質を確保するかで、意外にもニワトリやウサギではなく、カイコやシロアリ等が考えられている。私の提案は、もしそうなら、「火星でサツマイモを栽培し、芋はもちろん良質の炭水化物。残った葉はエビガラスズメに食わせて幼虫もしくは蛹で食べよう」というものである²¹⁾。カイコは大量の絹糸タンパク質を合成するが、エビガラスズメの絹糸腺（下唇腺という）は貧弱で、サツマイモ葉から取りこんだタンパク質の大半は脂肪体に貯蔵タンパク質として蓄えられる。ビタミン類も豊富で良質のタンパク質源となることは疑いない。つい最近の昨年11月12日に、宇宙昆虫食の提案者であるカナダマックギル大学のKok教授ご夫妻と山下先生ご夫妻が信州に来られたおり、大学の近くの豆腐料理店でエビガラスズメの試食会を開催しエビガラ料理に舌鼓を打った。思いの他おいしく好評だった。もっとも、同席した学生の感想は「火星まで出かけてエビガラスズメを食べたいとは思わない。美味しいものがふんだんにある地球の有難さが分かった。」というものであった。

おわりに

エビガラスズメに出会い、実験昆虫化し、研究を楽しみ、宇宙に想いを馳せる楽しい思いをさせて頂いた。エビガラスズメと出会うキッカケとなった樽本勲氏（その後、大阪府立大学農学部教授を経て、現在、財団法人いも類振興会副理事長）のご協力・ご好意に改めて心から感謝申し上げたい。また、実験昆虫化とコロニーの維持に当っ

ては蚕糸・昆虫農業技術研究所（現農業生物資源研究所）の霜田政美氏、竹田敏氏、木内信氏、田中良明氏、鹿児島農試の上和田秀美氏、信州大学繊維学部の白井孝治氏並びに多くの学生諸氏にお世話になった。ここに記して御礼申し上げる。

引用文献

1. Kiguchi, K. & M. Shimoda 1994 Zool. Sci. 11:143-147.
2. 木口憲爾ら 1994 蚕糸昆虫研報告 (10) : 37-52.
3. 霜田政美ら 1996 日蚕雑 65 (1) :21-30.
4. 木口憲爾 1997 アニテックス 9 (4) : 217-221.
5. 霜田政美 1998 博士学位論文（筑波大学）
6. Shimoda, M. & M. Kiuchi 1998 Appl. Entomol. Zool. 33 (4) : 525-534.
7. 霜田政美ら 1995 応動昆 39 (1) : 75-80.
8. 霜田政美・木口憲爾 1995 応動昆 39 (4) : 321-328.
9. Kuwasawa, K. et al. 1995 J. Insect Physiol. 41:571-580.
10. Iwami, M. et al. 1996 Insect Biochem. Mol. Biol. 26 (1) : 25-32.
11. Wakamura, S. et al. 1996 Appl. Entomol. Zool. 31:171-174.
12. Shimoda, M. & H. Saito 1997 Comp. Biochem. Physiol. 118B (4) : 943-948.
13. Jiang, Y. et al. 1999 J. Seric. Sci. Jpn. 68 (5) : 387-395.
14. Ando, N. et al. 2002 J. Neurosci. Methods 115 (2) : 181-187
15. Mori, N. et al. 2003 Biosci. Biotechnol. Biochem. 67 (5) : 1168-1171.
16. Uno, T. et al. 2004 J. Insect Physiol. 50 : 35-42.
17. Ando, N. et al. 2004 Zool. Sci. 21 : 123-130.
18. Fukamoto et al. 2006 J. Insect Biotechnol. Sericol. 75 : 99-106.
19. Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology, Vol.1-13, Pergamon Press, 1985).
20. 山下雅道 2008 農林水産技術研究ジャーナル 31 : 7-9.
21. Katayama, N., et al. 2008 Advances in Space Ressearch 41:701-705.