

カイコってすごい虫!

2022



はじめに

「カイコ（蚕）」という虫を知っていますか？

「白い幼虫で絹の原料を作る虫…」、「小学校の理科で飼ったことがある」、「博物館で見た」…などと思いつくかもしれません。でも最近ではあまり見かけなくなりました。それは、カイコを飼う（養蚕ようさんを行う）農家が非常に少なくなったからです。

今から90年ほど前、大正から昭和初期の時代には、カイコの繭まゆから得る生糸きいとは、外貨を得るための重要な輸出品目でした。「繭を売ったお金で軍艦を買った」とまで言われた時代もあります。しかし、その後、太平洋戦争や化学繊維の台頭、安い海外の繭の流入などにより、養蚕業ようさんぎょうは衰退の一途をたどってきました。今では「カイコなどもう重要でない」と言う人もいます。

ところが、カイコは本当にすごい虫なのです。21世紀になって、カイコが新たな可能性を持つ虫として注目されています。

一つは遺伝子組換えカイコの利用です。これまで他の方法では生産が難しいとされていた抗体、ワクチンなどの医薬品を、遺伝子組換えカイコを用いて作ることができるようになりました。

もう一つはシルク新素材の開発です。絹糸を絹織物を作るためだけでなく、粉末やスポンジに加工することで、医療用素材や電子部品の材料として利用できることが分かりました。

本冊子では、そんな“すごい虫”カイコについての基本知識と、カイコが持つ大きな可能性についてご紹介します。

目 次

はじめに

I. カイコってどんな虫？	1
カイコってどんな虫？	
カイコの名前の由来	
カイコの種類と品種改良	
カイコの一生	
II. カイコの産業利用の歴史	4
養蚕の起源とシルクロード	
古代～中世の養蚕	
江戸時代の養蚕	
日本の発展に貢献した養蚕業（明治～昭和初期）	
養蚕業の停滞と衰退（世界恐慌～現在）	
現在のわが国の蚕糸業	
新たなシルク産業	
III. カイコが果たした生物・遺伝学への貢献	11
遺伝学、生物学へのカイコの貢献	
遺伝学への貢献	
生物学への貢献	
IV. カイコを利用した新素材、新産業への研究	13
シルクを原料とした新しい素材・製品	
農研機構が行っている新素材開発	
医療用素材の開発（医療用ガーゼ、人工血管など）	
化粧品素材の開発	
創傷保護材の開発	
電子素材の開発	
V. 遺伝子組換え技術とカイコ	16
遺伝子組換えカイコ	
遺伝子組換えカイコは生態系などに影響はないの？	
遺伝子組換えカイコで何ができるの？	
有用物質の生産	
新素材の開発	
遺伝子組換えバキュロウイルスの利用	
VI. これからの「カイコ産業」	22

さいごに

さらに知りたい方のために

I. カイコってどんな虫？

◇カイコってどんな虫？

カイコは蝶や蛾の仲間で、少し難しく言うとチョウ目（鱗翅目）カイコガ科に属する昆虫です。標準和名を「カイコガ」と言いますが、一般的に「カイコ」と呼んでいます。

カイコは、幼虫がつくる繭から絹糸をとるために人が飼育している虫で、野外には生息していません。今から5千年以上も昔の中国でクワコという野生の虫を飼い慣らし、その後もずっと品種改良を重ねて作り上げたものです。カイコの幼虫はほとんど移動せず、餌が無くなっても与えられるまでじっと待っています。成虫は羽があっても飛べません。このためカイコは、人が世話をしないと生きていくことができません。



カイコガの成虫(左)とクワコ(カイコの先祖)の成虫(右)

◇カイコの名前の由来

古い時代には、カイコは蚕（こ）と呼ばれていました。人々がカイコを飼うようになると「カウコ」から「カイコ」となったと言われています。また古い神話には、神様が蚕を生んだので「神蚕（カミコ）」から「カイコ」と呼ぶようになったとも言われています。この他にもカイコの名前の由来については色々な説があります。

◇カイコの種類と品種改良

現在日本では、農家で飼育されるカイコのほか、遺伝資源として研究所や大学に保存されているものを含めると、約600種類のカイコが知られています。黒色や縞模様のもの、黄色い繭まゆを作るもの、細い糸を作るもの、大きな繭で糸量の多いもの、病気に強いものなど、様々な特徴を持ったカイコがいます。

養蚕ようさんに利用されているカイコは、病気に強くて飼育しやすく繭が大きいといった特性を選び出し、その性質を固定することで品種化したものです。また、遠縁の親同士を交配こうはいした雑種が丈夫で飼いやすく、糸の生産量も多いということから、農家で飼育するカイコはほとんどが交雑種こうざつしゅとなっています。最近では絹タンパクの一つ、セリシンだけを繭糸まゆいととして吐く品種が開発され、さらに遺伝子組換えによる品種開発も進められています。

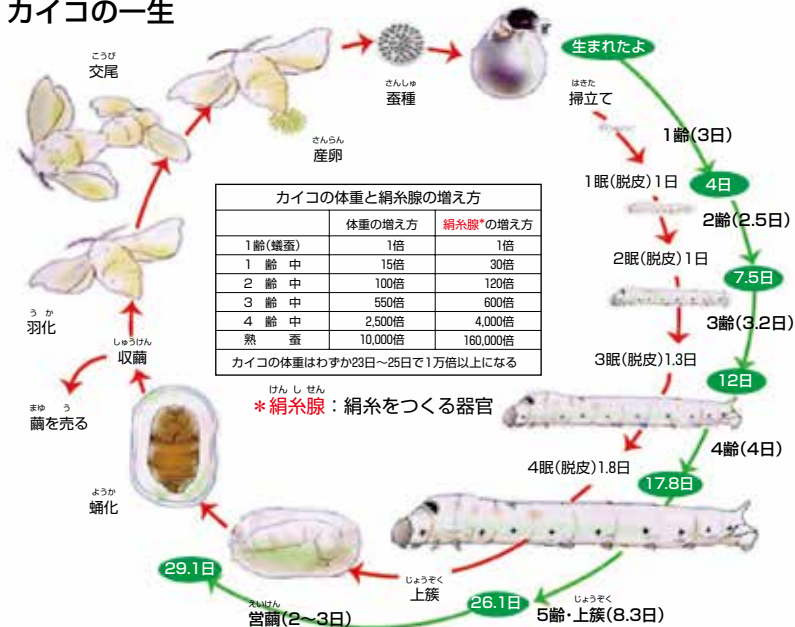


様々な種類のカイコ(幼虫)と繭まゆ

◇カイコの一生

カイコは卵からかえった（^ふか）後、4回の脱皮を行い繭を作ります。繭の中で幼虫は蛹になり、成虫になる準備をします。幼虫の時期は食欲がきわめて旺盛で、成長も盛んです。繭を作る直前の5齡後期には、体重が孵化時の1万倍にまでなります。このため養蚕農家にとってカイコへのエサやりは、早朝から深夜まで続く大変な作業でした。現在では桑の葉、脱脂大豆などを原料とする人工飼料が普及しており、省力化が進んでいます。また、全自動で餌を与える仕組みも開発されています。

カイコの一生



- ・ 蚕種：カイコの卵のこと
- ・ 掃立て：ふ化したカイコを飼育し始めること
- ・ 上簇：繭を作るための足場にカイコを移すこと
- ・ 営繭：繭を作ること
- ・ 蛹化：サナギになること
- ・ 取繭：繭を集めること

イラスト：市立岡谷蚕糸博物館「カイコとシルクのおはなし」より

II. カイコの産業利用の歴史

◇^{ようさん}養蚕の起源とシルクロード

養蚕の歴史は古く、紀元前15世紀頃に中国で始まり、その後、日本や遠くヨーロッパに伝わっていきました。絹織物は当時大変な貴重品であり、皇帝や国王などの権力者への^{けんじょう}献上品や、友好国への贈り物として用いられました。絹織物はその美しさから世界中の人々を魅了し、ペルシャや古代ローマの商人は海、山、砂漠などを越え、危険な目に^あ遭いながらも絹織物を求めて中国までやってきました。交易路として彼らが通った道は、「シルクロード（絹の道）」として現在も知られています。



(左) ホウキグサを使った昔ながらの繭作り
(下) カイコの飼育に利用されている桑の並木
(ともにウズベキスタン)



◇古代～中世の養蚕

日本で養蚕が始まったのは1～2世紀と言われています。中国の古代文献である「魏志倭人伝」には、邪馬台国の女王卑弥呼が魏の皇帝に絹を献上したと書かれています。また、聖徳太子が6世紀に制定した「十七条憲法」には、農桑（のうそう 農耕と養蚕のこと）の重要性が説かれています。生産された絹糸や絹織物は貴重品で、一般的に使用されることはなく、主に税として朝廷に納められました。奈良東大寺の正倉院には、当時の朝廷に献上された絹織物が今も残っています。



正倉院



正倉院に今も残る当時の絹織物
(写真：宮内庁提供)

◇江戸時代の養蚕

江戸時代に入ると日本各地で養蚕が盛んになりました。なかでも奥州伊達地方（現在の福島県）、上州（群馬県）、信州（長野県）が繭の主な産地として知られていました。19世紀に入ると養蚕についての技術書も数多く出版され、特に1803年に出版された上垣守国うえがきもりくにの「養蚕秘録：全3巻」は総合的な技術書として評価の高いものでした。



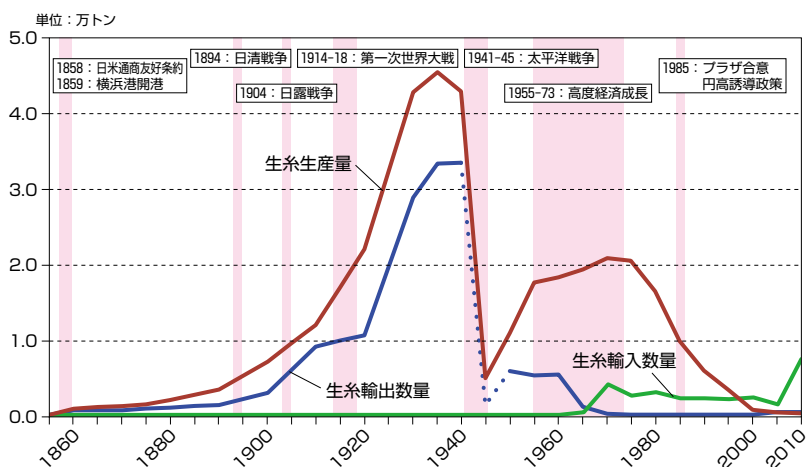
養蚕秘録

◇日本の発展に貢献した養蚕業（明治～昭和初期）

1853年にアメリカのペリー総督（黒船）が来航したことをきっかけに、欧米諸国との貿易が盛んになりました。当時、日本の輸出品は生糸や茶など少数で、なかでも生糸は全輸出品の6割以上を占める重要な輸出品でした。グラフにあるように、1859年の横浜開港から1941年の太平洋戦争開戦までのおよそ80年間、生糸の生産量と輸出量はほぼ一貫して増加しています。またこの間、1909年（明治42年）には、日本の生糸生産高は中国を追い越して世界一になりました。

生糸の輸出で得られた外貨は、主に欧米からの工業製品や機械の購入に充てられ、日本の近代化、工業化の基盤となりました。また、農家にとっても養蚕は貴重な現金収入の手段であり、養蚕が盛んだった地方では、今でもカイコのことを親しみを込めて「お蚕（こ）さま」「お蚕（こ）さん」と呼んでいます。

開国以来の日本における生糸の生産、輸出、輸入の推移



* 点線の箇所は推定値

資料：貿易統計（財務省）、日本貿易月表（日本関税協会）、横浜市史（第2巻）、養蚕統計、蚕糸統計月報、繭生産統計調査（農林水産省）より作成

コラム：官営富岡製糸場

生糸の輸出にあたり、大きな課題となったのは品質の安定化と生産性の向上でした。明治政府は1872年（明治5年）にフランス人技師を招き入れ、その指導の下で繰糸機そうしきや蒸気機じょうききなどを輸入し、群馬県の富岡に日本初の器械製糸場を建設しました。富岡製糸場は官営の模範工場として日本各地から工女を受け入れ、最新の製糸技術を全国に伝える役割も果たしました。1893年（明治26年）に民間に払い下げられた後も長く操業を続けましたが、昭和62年（1987年）に閉鎖されました。

富岡製糸場は明治政府が設立した官営工場のうち、建設当時のままの姿で保存されている唯一のものです。建築物としての価値と、世界の絹産業の発展と絹消費の大衆化に貢献した重要な資産としての価値が認められて、平成26年6月に世界遺産に登録されました。



上州富岡製糸場錦絵
(東京農工大学科学博物館提供)



現在の富岡製糸場(東繭倉庫)
(富岡市 富岡製糸場提供)

◇^{ようさん}養蚕業の停滞と衰退（世界恐慌～現在）

日本の養蚕業が衰退したきっかけは、1929年（昭和4年）の世界恐慌でした。さらに太平洋戦争や戦後の物資・食料不足、安価な化学繊維であるナイロンの普及、輸入絹織物の増加、後継者不足や円高などが重なって、養蚕農家は次第に姿を消してゆきました。最盛期の1929年（昭和4年）には、日本の全農家の約40%（220万戸）が養蚕を行い、^{くわ}桑畑は全農地の10%（62万ha）に及んでいましたが、2020年（令和2年）には養蚕農家はわずか228戸にまで減っています。

現在では、中国、インド、タイといった労働力の安い国々が、^き糸や絹織物の主な生産国となっています。



（上）子供たちの織物体験の様子
（写真：ひころの里シルク館提供）



（右）昔ながらの糸取りの様子
（写真：社団法人日本絹業協会提供）

コラム：皇后陛下とご養蚕^{ようさん}

東京の真ん中で今も養蚕が行われていることを、皆さんは知っていますか？ その場所は「東京都千代田区千代田1番1号」… そう、皇居です。

ご養蚕は、明治4年、時の皇后陛下（後の昭憲皇太后^{しょうけんこうたいこう}）が宮中で始められて以来、歴代皇后陛下に引き継がれてきました。

皇居紅葉山にあるご養蚕所では、日本産種^{にっぽんさんしゅ}のカイコ「小石丸^{こいしまる}」が飼育されています。小石丸は飼育が難しく糸量も少ないため、養蚕農家から敬遠されて、一時は系統が途絶える危機に直面し、皇居においても飼育中止が検討されましたが、平成にお引き継ぎになった皇后美智子さま（現、上皇后）のお言葉により飼いつけられて、品種が維持されてきました。現在ご養蚕は、皇后雅子さまに引き継がれています。

小石丸から作られた絹糸は、秋篠宮家の悠仁親王殿下が初めて宮中に参内される際に召された「御初召^{ひさひと}」に用いられました。また、正倉院宝物である奈良時代の絹織物「正倉院裂^{せいかういん}」の復元や、絵巻の名品である「春日権現験記絵^{かすがごんげんげんきえ}」の表紙裂及び巻緒の復元に使われたこともあります。



紅葉山のご養蚕所でカイコの世話をなさる皇后雅子さま
（令和2年5月29日撮影、写真：宮内庁提供）

◇現在のわが国の蚕糸業

現在、わが国は養蚕業、製糸業ともに、きわめて厳しい状況にあります。平成17年（2005年）には生糸や絹織物の輸入が完全に自由化され、安い輸入品との競争がさらに激しくなりました。農林水産省は国産の生糸を用いて差別化、ブランド化した絹製品や国産絹織物の利用を消費者にPRし、蚕糸業の振興に取り組んでいます。



極細織度カイコ品種「はくぎん」の糸で織られた高級ブランドスカーフ
(写真：椎野正兵衛商店
シルクストアー提供)

◇新たなシルク産業

絹を繊維として利用する他、粉末や液体に加工して食品や化粧品の素材として利用されています。また、繭糸を構成するフィブロイン（絹糸になる層）とセリシン（2本のフィブロインをくっつける糊の層）のそれぞれその特長を活かした素材開発が進んでいます（13ページ以降参照）。また、遺伝子組換え技術により、高機能なシルクの生産が可能になりました（16ページ以降参照）。今後は「カイコ＝絹織物」という考えにとらわれず、様々な製品の開発が期待されています。

繭糸断面の電子顕微鏡写真

2本のフィブロインをセリシンが囲むようにして1本の繭糸になっている。



Ⅲ. カイコが果たした生物・遺伝学への貢献

◇遺伝学、生物学へのカイコの貢献

カイコはショウジョウバエとならび、古くから遺伝学、生物学の実験材料として役立ってきました。カイコは飼育が簡単で逃げ出さない、体が大きい、実験材料を大量に確保できる、といった利点を活かし、20世紀以降の遺伝学や、生物学分野の研究発展に大きく貢献してきました。

遺伝学への貢献

メンデルの遺伝の法則は、1865年にエンドウ豆を用いて発見されました。この法則が動物でも成り立つ事は、カイコを用いた実験で初めて証明されました（1906年）。また、性染色体せんしよくたいが動物の性別の決定に重要な役割を果たすことも、カイコで初めて明らかにされたものです。

その他、放射線てんざで転座（染色体の一部が切れて他の染色体と結合すること）を起こして雌雄鑑別系統しゆうかんべつけいとう*を開発したり（1944年）、真核生物*では初めてmRNA*（メッセンジャーRNA）の単離に成功する（1972年）など、バイオテクノロジーや分子生物学で注目された成果が少なくありません。

雌雄鑑別系統：

成虫になる前（幼虫や繭の時点）に性別を区別出来る系統のこと。効率的な蚕種製造に役立つ

真核生物：

核を持つ生物のこと。核を持たない大腸菌などの生物は原核生物という

mRNA：

DNAの遺伝情報をタンパク質合成の場へ情報伝達する核酸



幼虫斑紋ほんもんによる雌雄鑑別実用化系統（雌には斑紋があるが、雄にはない）

生物学への貢献

「ホルモン」「フェロモン」といった言葉は、今でこそ一般的ですが、その作用が解明されたのは最近のことです。そして、その解明にはカイコが大きな貢献を果たしました。1940～50年代にかけて、昆虫の内分泌器官（前胸腺やアラタ体など）が発見され、脱皮や変態を調節するホルモンの解明が進みました。また、1959年には世界で初めて性フェロモン*が、1990年前後には前胸腺刺激ホルモン*、休眠ホルモン*が単離・同定されています。

21世紀に入ってから、遺伝子組換えカイコを作り出す技術の開発や、カイコゲノム*の概要解読など、大きな研究成果が得られています。

性フェロモン：異性をひきつけるために分泌する物質
前胸腺刺激ホルモン：昆虫の脱皮や変態を引き起こす物質
休眠ホルモン：卵の休眠・非休眠を決める物質
ゲノム：ある生物がもつ遺伝情報全体のこと

コラム：カイコの人工飼料

カイコの人工飼料は、「なぜカイコはクワの葉しか食べないのか？」という科学的興味と、「クワの葉を使わないでカイコを飼いたい」という実用的な要請から開発されました。

人工飼料は脱脂大豆粉末、クワ葉粉末、糖、ビタミンなどからできており、農家でのカイコの共同飼育中の病気予防や、労力の軽減に貢献しています。また、人工飼料によって一年中カイコを飼えるようになったため、大学や研究所などにおける様々な研究の発展に貢献しています。



人工飼料を食べるカイコ

IV. カイコを利用した新素材、新産業への研究

◇シルクを原料とした新しい素材・製品



シルクを原料とした様々な素材(上)とシルクを含む製品例(下)



今日でもシルクは“繊維の女王”として君臨しています。その一方で、シルクがフィブロインとセリシンという純度の高いタンパク質からできていることを利用して、様々な素材、商品を開発する試みがなされています。

◇農研機構が行っている新素材開発

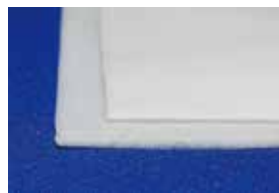
医療用素材の開発（医療用ガーゼ、人工血管など）

絹糸は生体に良くなじみ、無害であるため、昔から手術用縫合糸^{しゅじゅつようほうごうし}の材料として用いられてきました。その生体適合性^{てきごうせい}を活かして、平面やチューブ状に加工した絹を、医療用ガーゼや人工血管として利用する研究が進められています。



医療用ガーゼ(左)とシルク製の人工血管(右)

また、シルクを粉末、ゲル状、スポンジ状の材料に加工し、新たな素材として活用する研究も進められています。シルクスポンジは、軟骨再生医療や床ずれ防止材の開発など、医療保健分野における様々な活用が期待されています。



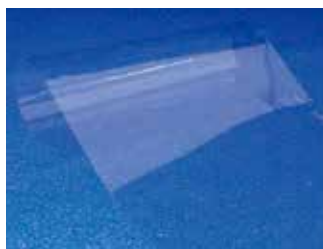
平面状のシルクスポンジ

化粧品素材の開発

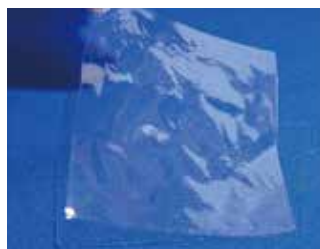
セリシン含有率が98%以上の繭糸を吐くカイコ品種「セリシンホープ」を利用し、セリシンを分解せずに溶液化できる技術を開発しました。この技術を利用して化粧品素材の開発が進められ、実用化されています。

創傷保護材の開発

フィブロインやセリシンを加工することで、^{しつじゆん}湿潤状態で強度に優れた絹タンパク質のフィルムを作ることができます。どちらも人体に有害な物質を使用せずに作製することができ、^{じゆうなん}柔軟性や透明性、^{がんすい}含水性に優れていることから、床ずれや^{やけど}火傷などの創傷保護材としての応用が期待されています。



フィブロインフィルム



セリシゲルフィルム

電子素材の開発

フィブロイン粉末を高温・高圧で処理することにより、^{ゆうでん}誘電特性*に優れた素材を作ること成功しています。この素材はICチップやコンデンサー、プリント基板など、電子部品への利用が期待されています。また、自然界で分解する性質を持つため、廃棄した後の環境への負荷が小さい点も注目されています。



フィブロイン製の基板

*誘電特性：電気をためる性質

V. 遺伝子組換え技術とカイコ

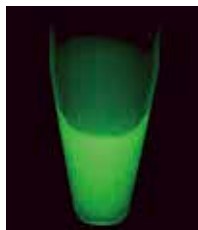
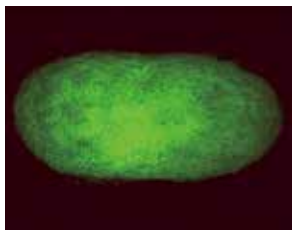
生物が生きている仕組みが分子や細胞のレベルで詳細にわかってくるとともに、生物が持つ機能を改良する技術開発も進んできました。遺伝子組換え技術もそのひとつです。実験室での研究活動においてはもちろん、農作物の品種改良、洗濯用洗剤に含まれる酵素や医薬品の製造などに利用されています。

◇遺伝子組換えカイコ

カイコの遺伝子組換え技術は、農研機構（旧 蚕糸・昆虫農業技術研究所）が主体となって2000年に開発されました。現在、遺伝子組換えカイコを用いて、新しい機能を持った絹糸を作ったり、他の方法では製造が難しい有用物質を生産する研究開発が進められています。その一部はすでに実用化されています。



顕微鏡で見ながら、まず卵に小さな穴を開け、そこからガラス針でDNAを注入します。



クラゲの遺伝子を導入して緑色蛍光タンパク質を生産するようになった繭(左)と、抽出した蛍光タンパク質(右)

◇遺伝子組換えカイコは生態系などに影響はないの？

カイコは高度に家畜化された昆虫で、幼虫は動き回らず成虫は飛べないことなどから、管理がとても簡単で、自然環境に影響を与えることもありません。通常の養蚕ではカイコが成虫になる前に出荷して、製糸工場まゆ さなぎで繭（蛹）を高温で乾燥処理するので、近縁野生種であるクワコと交雑する可能性はほとんど考えられません。実際、日本各地のクワコ7,000頭以上の遺伝子を調べても、カイコと交雑した痕跡こんせきは見つかっていません。

遺伝子組換えカイコを養蚕農家で飼育するにはカルタヘナ法*1に基づいて生物多様性への影響を評価し、農林水産大臣と環境大臣の承認を受ける必要があります。そこで、生物多様性影響などのデータを収集するため、2014年より農研機構の研究施設において養蚕農家に近い条件で試験飼育を開始しました。これは、遺伝子組換え動物として日本で初めての第一種使用等*2となります。

2017年9月には養蚕農家における緑色蛍光タンパク質含有絹糸生産カイコ飼育の第一種使用規程が承認され、同年10月から飼育が始まりました。2020年8月には、青色蛍光タンパク質含有絹糸生産カイコと高染色性（超極細）絹糸生産カイコが承認されました。

*1 カルタヘナ法：正式名称「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」

*2 第一種使用等：環境への拡散防止措置を執らずに遺伝子組換え生物を使用（飼育、栽培等）をすること

◇遺伝子組換えカイコで何ができるの？

現在までに500系統以上の遺伝子組換えカイコが開発されており、目的に合わせたカイコを作り出す研究が続けられています。

カイコは純度の高い絹タンパク質を大量に生産できるといった利点から、セリシンの層に有用タンパク質を作らせることで優秀な「昆虫工場」としての利用が実用化され始めています。また、フィブロインの層に新しいタンパク質を作らせたり、アミノ酸の組成を変えするなどして、これまでにない性質の絹糸を作ることが可能になりました。

さらに遺伝子組換えカイコを利用して作製されたスポンジやフィルム等のシルク素材は、再生医療の分野での利用が期待されています。

有用物質の生産

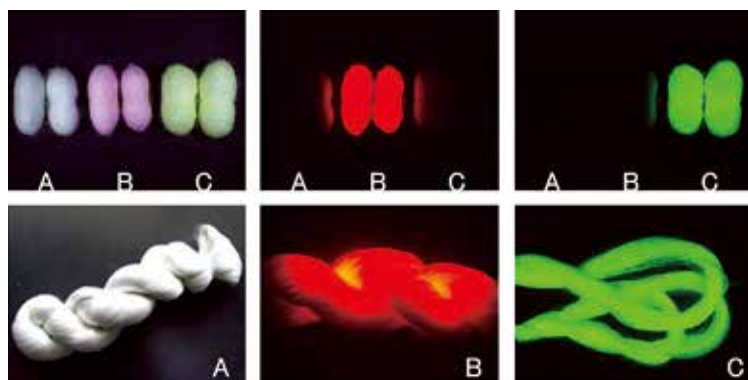
有用物質の生産工場としての遺伝子組換えカイコはすでに実用化されており、一例として病気の診断等に用いられる検査キットがあります。必要なタンパク質成分をセリシン層に作らせて抽出・精製し、検査キットの製造に用いられています。また、ヒト型コラーゲンも同様に製造され、化粧品に利用されています。

現在は難病の治療薬などの開発も進められており、これまで製造が難しかった少量多品目の医薬品製造の可能性も期待されています。

新素材の開発

①蛍光色を発する繭・生糸とその利用

緑色、赤色、オレンジ色など、クラゲやサンゴの蛍光タンパク質を繭糸のフィブロインに作らせることで、蛍光を発する絹糸を作製することができました。これには遺伝子組換え技術だけでなく、従来のように繭を高温で処理せずとも生糸を生産できる技術開発も貢献しています。



A：非遺伝子組換えカイコの繭と生糸
B・C：遺伝子組換えにより赤色(B)および緑色(C)蛍光タンパク質を含む繭と生糸

これらの蛍光生糸を用いて、ワンピース、ジャケットのほか、ウエディングドレスや舞台衣装が試作されました。

また、フィブロインタパク質のアミノ酸組成を変えることにより、これまでにない極細の絹糸の開発に成功しました。この極細絹糸を用いて、^{はまちりめん}浜縮緬に仕立てた布で着物の試作品も制作されています。この極細絹糸は糸の細さゆえの光沢の良さのみならず、染色した糸の発色が良いと高い評価を得ています。

その他、細胞接着機能を持たせた糸を利用した人工血管の開発なども進められています。



上段：蛍光絹糸で制作したウエディングドレス。白色灯下(左)と青色LED(黄色フィルター使用)照明下でそれぞれ撮影。

下段：蛍光絹糸で織った浜ちりめんで制作した舞台衣装(左)と極細絹糸で織った浜ちりめんで制作した着物(右)

ウエディングドレスは(株)ユミカツラインターナショナル、舞台衣装と着物は浜縮緬工業協同組合と、農研機構がそれぞれ共同で制作しました。

舞台衣装の蛍光タンパク質は理化学研究所と(株)医学生物学研究所が共同開発したもの、デザインは成安造形大学の田中秀彦氏によります。

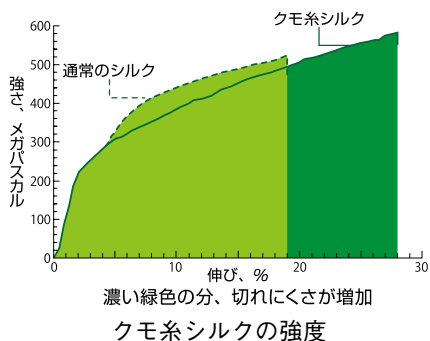
②クモ糸シルクの開発

クモ糸の特性を付加したシルクは、従来のシルクに比べて1.5倍もよく伸びて、切れにくくなっています。この性質を、^{きょうじん}強靱であると言います。(図の緑色の面積)

また、強度も通常のシルクに比べて強くなっています。このような新規の機能を持つシルクができることにより、新たな用途が開発されることでしょう。



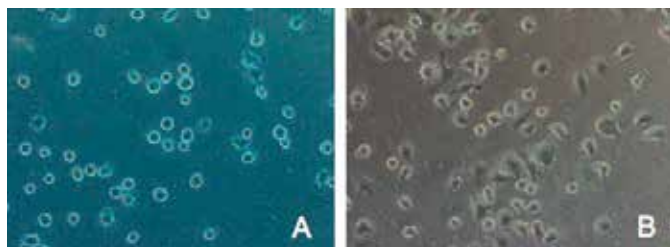
クモ糸シルクの繭



③創傷保護材としての高機能フィブロインフィルム^{そうしょう}

シルクから作ったフィルム（フィブロインフィルム）が新たな創傷保護剤として期待されていることは15ページで紹介しました。創傷保護剤には、傷口をふさぎ、細胞の成長を速め、雑菌の感染を防止するといった、様々な性質が求められます。

そこで、ヒトの細胞付着活性成分（傷口の細胞を固定し、治癒を促進する成分）を絹糸内に作る遺伝子組換えカイコが開発されました。この遺伝子組換えカイコの絹糸で作製したフィブロインフィルムは、従来のものに比べて細胞を付着・固定する性質に優れ（次図）、創傷保護剤としての特性がさらに向上したことが確認されています。



A：通常のフィブロインフィルムに付着したヒト細胞。B：遺伝子組換えカイコから作製したフィブロインフィルムに付着したヒト細胞。
Bのほうがより多くの細胞がフィルムに付着した。

④アフィニティーシルク

動物の免疫系で働く抗体は、特定のタンパク質と結合する性質（アフィニティー）があります。この性質を利用して、目的タンパク質を検出したり、単離したりする手法が研究や産業、医療などの分野で利用されています。

そこで、抗体のタンパク質結合部分だけをフィブロインに結合させた粉末シルク（右写真）を開発、大量に安くアフィニティーシルクパウダー生産することに成功しました。今後粉末をゲルやフィルム状に加工し、病気などの診断薬への応用が期待されています。



遺伝子組換えバキュロウイルスの利用

カイコに直接遺伝子を導入する手法とは異なりますが、カイコの病原ウイルスの一種であるバキュロウイルスに、有用なタンパク質を作る遺伝子を導入し、それをカイコに感染・増殖させることで、大量の有用タンパク質を得る技術が確立されています。

この方法を用いて製造した犬アトピー性皮膚炎の治療薬が発売されています。

Ⅵ. これからの「カイコ産業」

すでに述べたように、日本の養蚕業は大変厳しい状況にあります。しかし、これまでに紹介したように、新しいシルクが実用化に近づいています。また、遺伝子組換えカイコの活用により、まったく新しいシルク素材が開発されたり、有用タンパク質製造では民間企業での実用化が始まるなど、これまでの養蚕業と異なる新たな「カイコ産業」が起こりつつあります。

新たな「カイコ産業」は、これまで培われた養蚕技術の上に成り立つ新しいバイオ産業です。カイコ（蚕）という字は「天」の「虫」と書きます。この天からの授かりものであるカイコを大切に、新たな産業が大きく花開くことに、科学技術の面から貢献することが私たち農研機構の使命であると考えています。

さいごに

カイコについて、そして、カイコが持つ大きな可能性についてご理解いただけたでしょうか。少なくともカイコに対する見方を新たにさせていただけたと思います。

農研機構では、今後もカイコを利用した新産業振興のための研究を進めていきます。また同時に、適切な情報提供にも努めて参ります。

疑問点があれば、巻末記載の問い合わせ先までお問い合わせください。

----- さらに知りたい方のために -----

さらに詳しいことや新しい情報は、以下に紹介するホームページや参考図書で確認することができます。(ホームページアドレスは令和元年6月現在)

〈研究機関・行政機関〉

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

<https://www.naro.affrc.go.jp/>

食と農の科学館

<http://www.naro.affrc.go.jp/tarh/>

群馬県蚕糸技術センター

<https://www.pref.gunma.jp/07/p14710007.html>

群馬県立世界遺産センター

<https://worldheritage.pref.gunma.jp/whc/>

富岡製糸場（しるくるとみおか：富岡市観光 HP）

<http://www.tomioka-silk.jp/tomioka-silk-mill/>

ナショナルバイオリソースプロジェクト「カイコ」

<http://silkworm.nbrp.jp/>

〈公益法人等〉

一般財団法人大日本蚕糸会

<http://www.silk.or.jp/>

ジャパンシルクセンター

<http://www.silk-center.or.jp/>

一般社団法人日本蚕糸学会

<http://www.jsss.or.jp/>

日本シルク学会

<http://jsst.sakura.ne.jp/>

〈その他参考 HP〉

岡谷蚕糸博物館 シルクファクトおかや

<http://silkfact.jp/>

株式会社免疫生物研究所 遺伝子組換えカイコ事業

<https://www.ibl-japan.co.jp/business/silkworm/>

株式会社高原社「カイコ飼う」

<http://kaikokau.jp/know/>

NPO法人くらしとバイオプラザ21

「みんな知ってる？未来に羽ばたくカイコ」

<http://www.life-bio.or.jp/school/kaiko/index.html>

〈参考図書〉

「カイコとシルクのお話」市立岡谷蚕糸博物館

「うまれたよ！カイコ」小杉みのり、新開孝：岩崎書店

「カイコの絵本」木内信、本くに子：農文協

「カイコ（いのちのかんさつ）」中山れいこ、アトリエ モレリ、赤井弘：少年写真新聞社

「カイコーまゆからまゆまで」岸田功：あかね書房

「カイコでつくる新産業」木内信：農文協

「日本のシルクロードー富岡製糸場と絹産業遺産群」佐滝剛弘：中公新書ラクレ

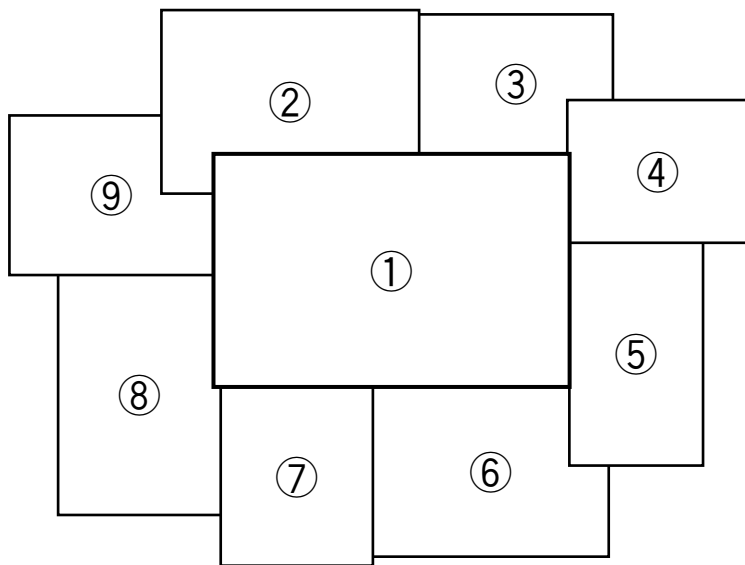
「昆虫機能の秘密」竹田敏：工業調査会

「皇后さまとご養蚕」宮内庁協力：扶桑社

「ぜんぶわかる！カイコ（しぜんのひみつ写真館）」新開孝、伴野豊：ポプラ社

「カイコの科学」日本蚕糸学会：朝倉書店

表紙写真の説明



- ① 子供たちの絹織物体験の様子 ひころの里シルク館提供
- ② 様々な色を発現した繭
- ③ 生糸の原糸
- ④ 糸繫ぎの様子 (社)日本絹業協会提供
- ⑤ シルクを用いたウェディングドレス
- ⑥ カイコの幼虫と繭
- ⑦ カイコとクワコの成虫
- ⑧ 着物姿の女性 (社)日本絹業協会提供
- ⑨ 緑色蛍光タンパクを発現した遺伝子組換えカイコの幼虫

問い合わせ先

農研機構ホームページ

<https://www.naro.affrc.go.jp/inquiry/index.html>

カイコってすごい虫！

平成20年3月	初版発行	令和元年6月	第7版発行
平成26年7月	第2版発行	令和2年11月	第8版発行
平成27年5月	第3版発行	令和4年1月	第9版発行
平成28年5月	第4版発行		
平成29年4月	第5版発行		
平成30年6月	第6版発行		

作成・発行 農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）
企画戦略本部 新技術対策課
029-838-7138

