

# 昆虫テクノロジー研究





# 目 次

1 . はじめに .....	1
2 . 昆虫に関連した産業 .....	1
1 ) 伝統的昆虫産業 .....	1
<コラム 虫を食べる> .....	2
2 ) 新しい昆虫産業 .....	3
3 . 昆虫機能利用研究の現状と成果 .....	3
<コラム フィブロインとセリシン> .....	4
<コラム 昆虫の生殖活動を制御する共生微生物 - ウォルバキア - > .....	6
4 . 今後の研究展開 .....	6
1 ) ゲノム創薬 .....	7
<コラム 昆虫新産業の創出に向けた動き - 昆虫新産業創出ワークショップの開催 - > .....	7
2 ) 昆虫工場 .....	7
<コラム カイコという昆虫の特性 - 飼い慣らされた昆虫 - > .....	8
3 ) 新素材開発 .....	8
<コラム 絹から化粧品> .....	9
4 ) 昆虫の特異機能の活用 .....	9
<コラム ヤマトヒメミミズの再生機能> .....	11



## 1. はじめに

古代ギリシャの哲学者・科学者アリストテレスは昆虫の変態に大きな関心を持っていました。彼は、幼虫が持っていた器官、組織がかげも形もなくなり、まったく形がちがう成虫のための器官・組織がゼロから作られるという、昆虫変態の劇的な形態変化に驚いていたのです。

昆虫は無脊椎動物の中でもっとも高度に進化した動物で、節足動物というグループに属しています。節足動物には昆虫の他には、エビやカニの甲殻類、クモ、ダニ、サソリのクモ類、さらには、ムカデ、ヤスデ、ゲジゲジなどみるからに嫌悪感をいだかせる多足類がいます。これらの動物の中で、昆虫は、頭、胸、腹の三つの部分に分かれ胸部に三対の脚を持っていることで特徴づけられます。

昆虫がこの地球上に出現したのは、約4億年前でゴキブリの仲間とされています(図1)。われわれ人類の出現が、約400万年前とされていますので、昆虫の歴史がいかに古いかわかります。昆虫は、その長い間における進化と適応の過程で、様々な特異的な生体機能を選択的に獲得、発達させてきました。それらの機能が彼らの、極寒の極地や乾ききった砂漠をはじめ全地球的規模での繁栄を可能としてきました。地球上に生息する昆虫種は約100万と言われ、これは、全動物種の9割を占めるものです。

しかしながら、わたしたち人類が、産業規模で利用してきたものは、ミツバチ、カイコなど、約100万種という昆虫全体からすればごく少数です。ミツバ



図1 太古の昔からあまり変わらずにいるゴキブリの仲間(嫌われ者のゴキブリですが、ほとんどのゴキブリは林の中で腐植などを食べて暮らしています。)

チを用いてその生産物であるハチミツをとる養蜂業は紀元前5000年まで遡ると言われています。また、カイコを飼育し糸を取る養蚕の起源は中国で、時代はミツバチと同じく紀元前5000年頃のこととされ、有名なシルクロードを経由して世界各地に広まりました。

近年、この様に古くから行われてきた養蚕・養蜂とは異なる全く新しい分野として、昆虫テクノロジーということが世間で言われるようになりました。昆虫がもっている特異的な生体機能を21世紀最大の未知の生物資源としてとらえ、利用しようとする試みです。その可能性を広げてきたのが、ゲノムや遺伝子解析、遺伝子組換え技術等、バイオテクノロジーを中心とした先端科学技術です。このような先端科学と最新の技術開発により、昆虫の特異的な機能の有用性に関する新しい知見が次々と得られるようになり、新産業創出分野における未開拓最大の生物資源としての昆虫類への期待が急激に大きくなったのです。

## 2. 昆虫に関連した産業

### 1) 伝統的昆虫産業

#### 殺虫剤産業

昆虫に関連した産業として、まず頭に浮かぶのが、農作物に被害をもたらす害虫を制御する殺虫剤に関わるものです。殺虫剤の世界の市場規模は約1兆円で、我が国における規模は、約0.15兆円程度のものです。しかしながら、こうした殺虫剤産業は、あくまでも害虫を防除するという立場のもので、昆虫がもっている特異的な生体機能や生産物、さらには個体の能力などを有効に利用する、いわゆる、昆虫利用産業といわれるものとは異なります。

近年、昆虫を個体レベルで利用する産業として、天敵を利用した害虫防除技術、いわゆる天敵農薬の普及が図られています。化学殺虫剤のような環境汚染を引き起こしにくい天敵農薬は、社会的にも歓迎されていますが、天敵の大量増殖・生産のための人工飼料育や代替餌の開発が緊急に要請されています。また、その土地に従来から生息している土着天敵類との競合や定着など、生態系の攪乱に対する配慮が必要となっています。

## 虫を食べる

韓国や東南アジアに旅行すると、路上で、食べるため昆虫が売られているのをよく見かけます。韓国では主に、ポンテギといわれるカイコの蛹ですが、タイのバンコクでは多様な昆虫が油で揚げられたり、ゆでられたりなどして売られています。たとえばイナゴの仲間（日本でも一般的ですが、コオロギも油炒めで供されています。タケツトムシという芯食い虫の仲間、さらには、日本ではほとんどその姿を見なくなり、貴重昆虫にもなっているタガメもいます。タガメは、メスで卵を持ったものが食べですが、地元では特有の香りをもつオスの方が好まれています。そのほか、中国、アフリカ、メキシコなど、昆虫を食べる習慣は、全世界で見られます。

日本では、過去にどれだけの種類の昆虫が食べられていたのか、1918年に当時の農事試験場の昆虫学者が調べています。それによると全国で薬用を含めて合計55種となっています。現在では、カイコ、蜂の子、ザザムシ（カワゲラ類の幼虫）、イナゴ、鉄砲虫（カミキリムシの幼虫）、ゲンゴロウ、セミなど市場にでているものは10種にも満たないのは寂しい限りです。



蜂の子とカイコの蛹の缶詰

### 蚕糸業

カイコを飼育して、その糸を利用する蚕糸業はもと中国で発生し、全世界に広がりました。現在はアジアの諸国に集中しています。中国では全世界の6割以上の繭生産がありますし、第2位のインドでは、世界の生産量の約2割を占めています。20世紀前半に世界の繭生産の約6割を占めていた日本は、第2次世界大戦以後、急激に減少し、現在では世界の0.2%以下に過ぎません。日本は、現在でも世界の絹製品の約4分の1を消費していますが、絹織物の原料となる生糸の需要も、景気の低迷や絹2次製品の輸入増大などで減少しています。

このような繭生産の継続的で大幅な減少の中で、国としては、繭生産者から、製糸業者、絹織物業者、販売者までが一体となったシステムづくりを奨励・推進しています。消費者のニーズに合わせた高品質化、特長のある繭づくりを行い、ブランド化して、外国産製品との差別化を売りにしています。

### 養蜂業

ミツバチを飼育し、ハチミツやその他の生産物を利用する養蜂業は、昆虫を利用した産業として重要なものです。世界的には、ウクライナ、ベラルーシ、ロシアなどの旧ソ連地区、中国、北米、ヨーロッパの諸国など温帯、亜寒帯地域で盛んです。我が国で、ハチミツの採取を目的にミツバチが飼育されたのは18世紀の前半で、江戸時代の後期には養蜂は盛んに行われていたようです。明治時代初期の1800年代後半から、飼育が容易でハチミツの生産量が多いセイヨウミツバチが導入され、徐々にニホンミツバチに置き換わる形で普及するようになりました。

養蜂は主にハチミツを採るのが目的ですが、蜜ロウやローヤルゼリーなどの副産物も利用されています。日本では、ローヤルゼリーや花粉は健康食品ブームに乗って、市場を拡大しています。また近年では、ミツバチを花粉媒介昆虫として利用する割合が増し、米国ではミツバチの受粉による果実生産等の経済的価値が年間50～100億ドルに達しています。これは、ハチミツを始めとする蜂生産品の100倍以上になっています。我が国でも、花粉媒介昆虫としてのミツバチの利用が、施設園芸の拡大とともに増加しています。



図2 カイコのバキュロウイルスを利用して生産したネコのインターフェロン(動物薬として世界中で市販されています)

## 2) 新しい昆虫産業

カイコを伝統的な養蚕業とは別な形で利用する、我が国独自の産業として、カイコを用いた医薬品等の有用物質の生産があります。東レ株式会社は、1993年にカイコとカイコの病原ウイルスを用い、ネコインターフェロンを主剤とした動物用医薬品の製造、販売を開始しました(図2)。ネコインターフェロンはある種のウイルスによって引き起こされるネコ風邪の治療に効果があります。このインターフェロンはイヌのウイルス性下痢症にも有効なことから、ヨーロッパ市場にも売り出されています。また、片倉工業では1996年からカイコを利用するタンパク質受注生産システム事業を開始しています。この事業は、バイオ関係の大学や国の研究所、民間企業などの研究者から依頼された遺伝子にもとづいてタンパク質の安定的な生産、供給を行う、一種の研究支援事業として位置づけられています。これらは、昆虫産業の新しい方向として注目されています。

その他の昆虫関連産業として、アジアを中心とした、カイガラムシの仲間イボタロウムシの白蠟や、ラックカイガラムシの生産するセラックという樹脂を塗料、食品コーティング剤等に利用するものや、メキシコのサボテンのカイガラムシ由来のコチニールという赤色の色素など、昆虫の生産する生体高分子物質が、化学合成品にない、天然物有用物質として様々な分野で利用されています。

## 3. 昆虫機能利用研究の現状と成果

農林水産省では、旧蚕系・昆虫農業技術研究所(現在は、植物を研究対象とする旧農業生物資源研究所とともに独立行政法人農業生物資源研究所を構成)を旧科学技術庁の中核研究拠点育成制度(COEプロジェクト)に基づいて、昆虫機能利用研究の中核研究所と位置付け、昆虫の特異的機能を解明し、利用するという研究を進めてきました。その中の研究成果には、新しい昆虫産業の創出に 응용が期待されるものがいくつかあります。

### 昆虫抗菌性蛋白質遺伝子セクロピンB

ヒトなど哺乳動物は、抗原・抗体反応という免疫系により、体内に入った病原菌を殺し、健康を維持する仕組みを持っています。昆虫は、このような抗原・抗体反応による免疫系を持たず、病原菌などを殺すタンパク質(ペプチド)を体内に作り出して外敵から身を守るようにしています。昆虫が作るこのような抗菌性ペプチドは1994年に初めて報告されて以来、これまでに200種以上が知られています。その1つセクロピンは、細菌の細胞膜に穴を開けることにより殺菌効果を示します(図3)。そのため、細菌の種類を問わず菌を殺すという、利用価値が高い

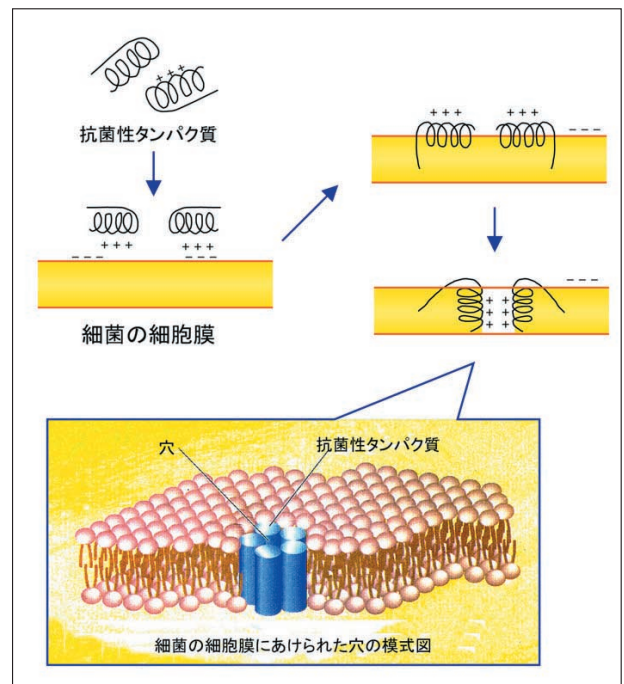


図3 昆虫の抗菌タンパク質は細胞膜に穴をあけて細菌を殺す

ペプチドです。カイコからも、セクロピンB遺伝子が単離されています。

このような抗菌性ペプチドは、細菌と異なり、完全な核を持つ細胞（真核細胞）を持つわれわれヒトなど高等生物には、まったく作用しないことが明らかにされており、安全性の高い抗菌物質として利用が期待されています。

### 抗血液凝固物質プロリキシンS

オオサシガメはヒトの血を吸う昆虫です。いわば害虫ですが、このオオサシガメの唾液腺から、われわれの役に立つ物質が発見されました。血液が固まるのを抑える抗血液凝固物質です。この抗血液凝固物質はプロリキシンSというタンパク質で、分子内に鉄分子を持ち、分子量は約2万で、その遺伝子も単離されています。

われわれの血液が固まるのは、血漿中に含まれるフィブリノーゲンというタンパク質が関与しています。このフィブリノーゲンが、多数の酵素反応が連続した複雑な過程を経て凝固物質になるのです。プロリキシンSはその一連の過程のうちの特定因子の活性化を阻害することが明らかにされました。

プロリキシンSは、オオサシガメの吸血に際して、さらに合理的な機能を持っていました。筋肉を弛緩させる作用です。プロリキシンSの鉄分子に結合している一酸化窒素（NO）が弛緩に関与してい

ます。プロリキシンSはオオサシガメの体内では、その内部の温度とpHによってNOと結合した状態になっていますが、一旦、動物の血管内に入るとNOが離れ、筋肉を弛緩させるのです。つまり、プロリキシンSという物質は、血液の凝固阻止と筋肉の弛緩という2つの生理作用を持つという巧妙な仕組みをもっていたのです（図4）。

プロリキシンSは抗血栓薬や筋肉弛緩剤など医薬の分野での応用が期待されています。

### 絹の超微細粉末とその利用

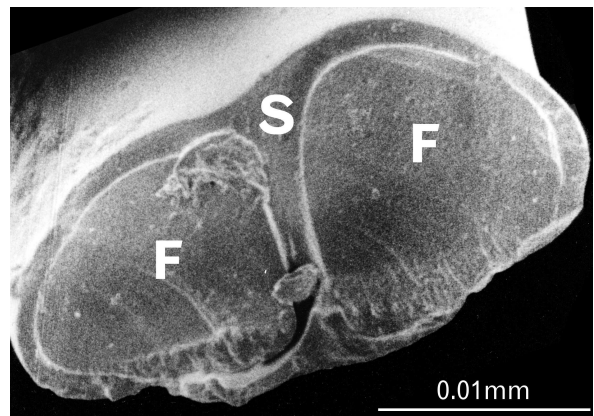
絹糸は、主としてフィブロインというタンパク質によって構成されています（コラム参照）。この絹タンパク質が持つ優れた特性として、吸湿性、放湿性などの生体への親和性があります。これらは、衣類としての絹の快適性の元となっているものです。その特性を利用して、衣料以外の用途への利用が試みられています。

絹タンパク質の超微細粉末が作成されました。絹タンパク質を機械的に粉砕する前に、アルカリ劣化を行うことによって、直径5ミクロンのフィブロイン粒子を調製できました。この微細粉末は吸湿性や放湿性など本来の絹タンパク質が持つ特性をもっていたので、樹脂と混ぜることによって、新しい感触のコーティング材が開発されました。このコーティング材、“シルクレザー”は、直接手が触れるボール

## コラム

### フィブロインとセリシン

繭糸を構成しているのはフィブロインとセリシンという二つのタンパク質です。その比率は、フィブロインが約70%、セリシンが30%となっています。それぞれのタンパク質は、カイコ幼虫の絹糸腺という1対の組織で生合成されるので、断面をみるとフィブロインの2つの芯にしてその外側をセリシンが包むように覆っています。セリシンは熱湯に容易に溶けるという性質から、繭から生糸への繰糸さらに、精練という工程で、繭糸から脱落してまいります。つまり、私たちがシルクと呼んでいるものは、繭糸のフィブロインタンパクだけが残っているものです。



繭糸の断面図（S：セリシン、F：フィブロイン）



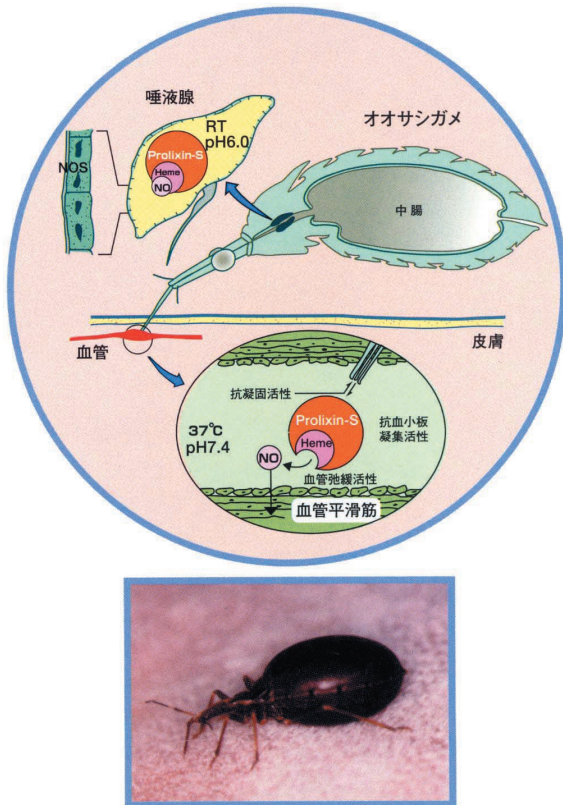


図4 吸血したオオサシガメ幼虫(下)と吸血時のプロリキシンSの作用の模式図(上)

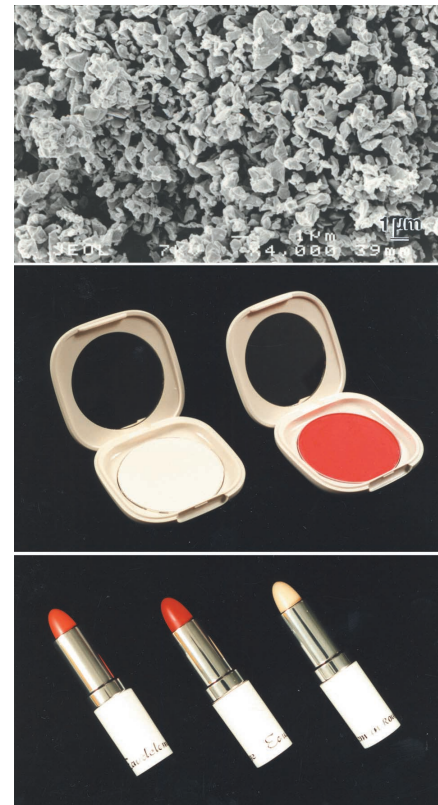


図5 絹の微粉末とそれを用いた化粧品

ペンや電話の受話器の外装、車の内装、インテリアなど多様な用途への利用が期待されています。

また、微細粉末作成技術をさらに改良し、吸湿性や放湿性を保ったまま、平均の粒子径が約 $1\mu\text{m}$ というさらに細かい、かつ結晶性をもった微粉末を製造することに成功しました。粒子径が $1\mu\text{m}$ の超微細粉末は結晶構造が残り、水に不溶だけでなく、付着性、成形性に優れていました。このことから、この超微粉末を用い、民間企業と共同で、絹100%の固形ファンデーションなどの化粧品が開発されました(図5)。

#### 昆虫工場 - カイコーバキュロウイルス利用による医薬品等有用物質生産 -

昆虫を物質生産の工場と見なして、インターフェロン、ヒト成長ホルモンなどわれわれ体内に微量しかない有用物質をカイコなどの昆虫に産生させ、それを精製することによって、医薬品として役立させる技術「昆虫工場」が、昆虫テクノロジーの主役の一つとして注目されています。

「昆虫工場」にはカイコに感染し病気を起こさせる核多角体病ウイルス(BmNPV)を用います。このウイルスは、多角体タンパク(図6左)を大量に作るため、これを有用物質など他のタンパク質に置き換えることで、カイコ体内で生産させることができます。

旧蚕糸・昆虫研究所(現(独)農業生物資源研究所の一部)では、昆虫工場のための基盤技術の開発をプロジェクト研究として進めてきました。昆虫工場では、組換えウイルスを接種されたカイコを大量に作ることで、作ったカイコから効率的に有用物質を抽出することが重要なポイントとなります。プロジェクトでは、全自動で無人かつ大量にカイコを飼育するシステム(図7) 効率的なウイルス経口接種法やカイコ体液採取法などを開発しました。これにより、ブタの免疫系を活性化させるインターロイキン2をカイコで生産、精製することに成功しています(図6右)。このシステムは、将来的には、遺伝子組換えカイコによる有用物質生産の基盤的技術としても、大いに役立つものと期待されています。

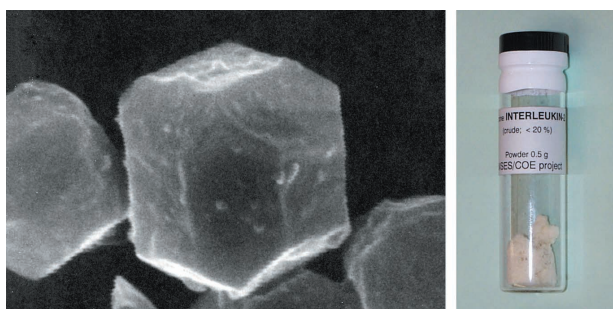


図6 多角体(左)と多角体遺伝子の代わりにブタのインターロイキン2遺伝子を組み込んで作った組換えタンパク質(右)

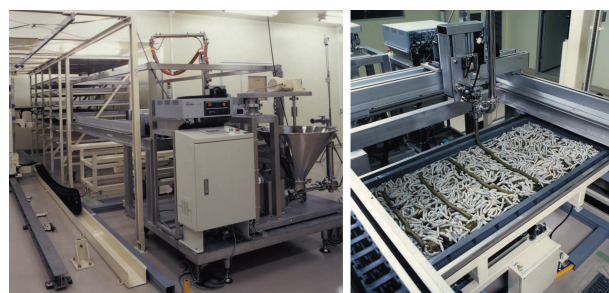


図7 カイコの全自動無人飼育システム -

#### 4. 今後の研究展開

これまでに得られたプロジェクトの成果を受け、農林水産省では、平成15年度から、産学官が連携することによって、新たに「昆虫テクノロジープロ

ジェクト」を推進しています。このプロジェクトは、ゲノム解析とそれに基づいた農薬の開発(ゲノム創薬)、形質転換カイコを利用した有用物質生産技術の開発(昆虫工場)、昆虫に特有な生体素材を用いた

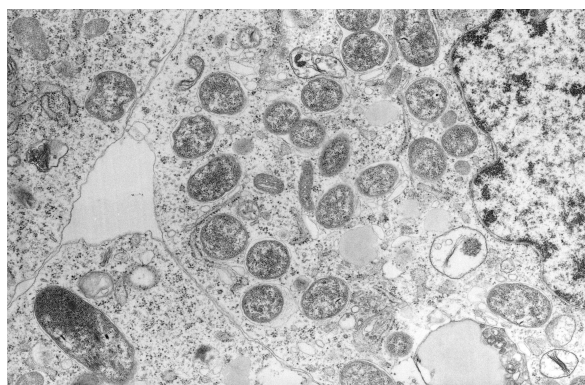
### コラム

#### 昆虫の生殖活動を制御する共生微生物 - ウォルバキア -

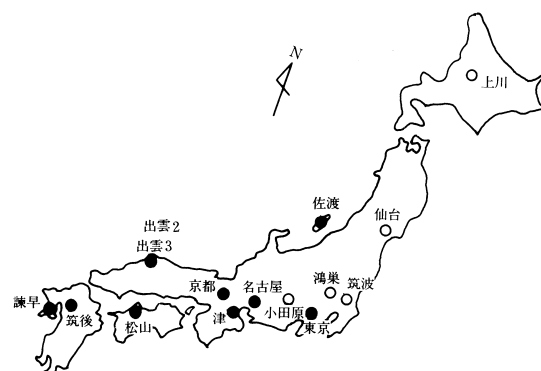
昆虫に共生しているウォルバキアという微生物があります。ウォルバキアはリケッチアに近縁な細菌の一群で、大きさは1 - 2  $\mu\text{m}$ 、普通の細菌のほぼ半分です。多くの昆虫から発見されています。ウォルバキアは昆虫にとって共生微生物の一種ですが、宿主である昆虫の生殖活動を制御している黒幕的な行動をする興味深い微生物です。

ウォルバキアの行動で、もっとも顕著なものは、イネの害虫ウンカ類でみられる細胞質不和合性への関与です。細胞質不和合性は、ウォルバキアに感染していないメスが、感染したオスと交尾すると、産まれた卵の発育が停止してしまう現象です。しかし、なぜ感染していない雌が産んだ卵の発育が停止するのか、そのメカニズムについては、まったくわかっていません。

ウォルバキアはこのほか、ハチの仲間では雌だけを生ませるようにする「雌性化」、遺伝的には雄なのにウォルバキアの感染によってメスになってしまう「雌化」、オスだけが選択的に致死し、産まれてくる個体が半分になってしまう「雄殺し」という現象も引き起こすことが分かっています。



ウォルバキアの電子顕微鏡写真



ウォルバキアに感染したヒメトビウカの分布 ( )

新素材開発から構成されており、産業界、大学などと広く連携しながら、これまでにない昆虫関連産業の創出を進めていきます。

### 1) ゲノム創薬

ゲノム創薬はヒトゲノム解読後のポストヒトゲノム研究の重要な柱の一つとして進められています。解読されたゲノム情報をもとに、病気に関連する遺伝子を同定し、その発病メカニズムを明らかにすることで、発病を効果的に抑える標的分子を見つけ出すことが基本戦略です。その上で、医薬品となる候補物質を選定していきます。この方法ですと、無数の化合物から有効な薬物を探索していく従来の方法に比べ、有効な化合物を発見する確率も大幅に高く、開発に要する期間、費用も少なくできるのです。

昆虫産業においても、昆虫ゲノム情報を農薬の開発に有効利用することを考えています。殺虫剤開発においては、つねに新しい種類の化合物の探索が求められています。また、殺虫剤の開発には莫大な費用と年月がかかります。殺虫剤1つを市場に出すには、10年の年月と、30~50億の費用がかかるといわれています。そこで、昆虫のゲノム解析をもとに、特定の害虫に対して高い殺虫作用を持つ薬剤のデザ

インを可能にする、ゲノム創薬という画期的手法が期待されるわけです。殺虫剤は、昆虫では神経伝達物質やホルモンの受容体に作用させるものが主流になっています。昆虫ゲノムの解読から昆虫の神経伝達物質の受容体を効果的にブロックする薬剤の開発が期待されます。また、昆虫に特異的な神経受容体に作用させることも可能になりますので、昆虫には有効で、私たち人類などには害がない選択性殺虫剤の開発も可能になります。

### 2) 昆虫工場

有用遺伝子をゲノムに組み込んだ形質転換昆虫による有用物質生産系は、導入した形質が次世代以降まで引き継がれます。その点で、組換えバキュロウイルスをカイコに感染させて有用物質を産生させる



図8 遺伝子組換え技術によりクラゲの緑色蛍光タンパク質の遺伝子を組み込んだカイコの幼虫と繭糸

## コラム

### 昆虫新産業の創出に向けた動き - 昆虫新産業創出ワークショップの開催 -

新しい昆虫産業の創出は、農林水産省やその関連の研究機関だけの努力ではできません。日本各地には、かつての蚕糸業の基盤もあり、カイコをはじめとした昆虫のもつ特異的な機能や生産物を有効に利用し、産業化しようという機運が根強くあります。そこで、農林水産省、農林水産先端技術産業振興センター（STAFF）、農林水産技術情報協会などがタイアップし、「2002昆虫産業創出ワークショップ」を日本各地で開催しました。それにより、各地域における昆虫関連のビジネス・ニーズを掘り起し、民間企業、大学、都道府県、農業協同組合、農業者などが相互に連携し、新しい昆虫産業の創出につなげることを試みました。東京を皮切りに群馬、京都、福島、長野と行われたワークショップには、いずれも150名~200名に及ぶ多数の参加者があり、昆虫テクノロジーによる新産業創出に熱い期待が寄せられていることが実感されました。



昆虫産業創出ワークショップ in 群馬での分科会の様子

## カイコという昆虫の特性 - 飼い慣らされた昆虫 -

カイコを昆虫産業の材料として用いる場合、動物や他の昆虫と比べていくつかの利点があります。まず、一番大きな利点は、飼育場所から逃げ出さないということでしょう。カイコは紀元前5000年頃よりずっと人類に飼い慣らされています。その間での淘汰の結果、フタもしない飼育容器で、たとえ餌がなくなっても、はい回ることもせず、餓死するほどです。この性質は、遺伝子組換えなどを行ったカイコの取り扱い上、環境への安全性という点で大きな利点です。もちろん、野外では、カイコは生活できず死んでしまいます。次に咬まないということも利点の一つです。昆虫では、アリなどは咬みますし、ミツバチのようなハチの仲間は刺すものもいて、毒さえあるものもいます。カイコはまったく危害のない生き物といえます。さらに、飼育において異臭がないということも特筆されます。カイコはクワの葉を食べて育ちますが、現在では、人工飼料で完全に飼育できるようになっています。いずれにしても、大量に飼育してもまったく不快な臭いを生じることはありません。長年カイコを飼育している農家の人などは、カイコのおいをむしろ、快いというほどです。



カイコ（白色）とクワコ（褐色）

カイコは中国で何千年もかけてクワコを飼い慣らして作られたと考えられています。



人工飼料で育つカイコ

従来の方と異なっています。

形質転換カイコを作り出す方法が2年前に開発され、産業的利用の面から期待されています。特に、この形質転換カイコにおいては、導入した遺伝子により産生される有用物質が絹フィブロインとともに体外に出されます(図8)。従来のカイコバキュロウイルスによる有用物質生産系では、体内に蓄積した有用物質を体液から抽出、精製することが大きな課題でした。有用物質が糸とともに体外に吐き出されれば、その精製の手間は大幅に簡略化されます。

形質転換カイコを使えば、テンサンやサクサンなどカイコ以外の絹糸昆虫の糸や強靱、かつ弾力性があるクモの糸もカイコで作らせることが可能となります。すでに、カイコを使って、ヒトのコラーゲン

の一部を生産できるようになっています。また、昆虫の抗菌性蛋白質遺伝子をカイコに導入し、抗菌性を付与した繭糸を作る技術開発も進んでいます。

### 3) 新素材開発

昆虫が産生する物質、特に生体高分子の中で、その利用が図られているのはカイコが生産するフィブロインやセリシンという絹タンパク質です。

これらタンパク質は素材利用の観点から、いくつかの特長をもっています。まず、絹は衣料素材として、人類と7千年もの長きにわたって接してきたこともあり、人体との相性がいいとされています。事実、外科手術の際の縫合糸として、古くから用いられ、タンパク質繊維であるにもかかわらずアレルギー

## 絹から化粧品

普通、農家で飼育されているカイコ、これを家蚕(カサン)といいます。近縁の間には野蚕(ヤサン)という家蚕よりやや大型のカイコがあります。野蚕も繭をつくることで知られています。野蚕の繭は、構成するアミノ酸の組成が家蚕のものと多少違っていることから、家蚕繭とは違った衣料以外の用途への利用が試みられ

ています。野蚕のうちのテンサンという種の絹タンパク質フィブロインを溶液化する技術が開発され、化粧水が作られました。この化粧水は、チロシン、フェニルアラニンなどのアミノ酸が多く、紫外線をカットする効果があること、保湿性に優れていることなど、女性を主なターゲットとしています。



テンサン(ヤママユガ)の幼虫とテンサンフィブロイン入りの化粧品

ゲンとなりません。絹タンパク質が、非常に純度が高い状態で、かつ大量に得られることも、材料として利用する際の大きな利点となっています。タンパク質としての材料調製の容易さも利点となっています。5 齢のカイコ幼虫から繭糸を作り出す組織(絹糸腺)を解剖によって取り出し、絹糸腺組織の部分をピンセットなどで取り除けば、残りの絹タンパク質は水に溶かすことによって、簡単に水溶液が得られますし、いったん繭として固体化したものでも、ある種の塩溶液を用いることによって、絹フィブロインタンパク質の水溶液が簡単に調製できます。

このようなことから、粉末、フィルム、ブロック、繊維そのものとしての利用が図られています。絹タンパク質には、ヒトの皮膚細胞の増殖を促進させる作用があり、この特性は、フィブロインを化粧品、あるいは創傷被覆剤などに用いる際に、非常に有効なものといえます。フィブロインのアミノ酸配列およびフィブロインを作る遺伝子の配列が明らかにされていることも、大きな利点です。フィブロイン遺伝子をさらに改変することにより、新しい構造特性と機能を持った繊維が開発される可能性は高いといえます。

絹タンパク質が生体親和性に優れていること、ならびに管状、スポンジ状の構造物を容易に調製でき

ることから、細胞培養基材として利用することが考えられています。この研究は、ヒトの血管細胞をその上で増殖させることにより、人工血管などを作る再生医療器材への開発につながるものです。

### 4) 昆虫の特異機能の活用

昆虫テクノロジープロジェクトにより昆虫ゲノムの解読が達成されると、昆虫に特異的な機能の解明やその遺伝子の単離が急速に進むとともに、その利用が大いに進みます。

#### (1) シロアリセルラーゼの発見と利用

シロアリはアリと同じように社会生活を営む昆虫で、形もアリに似ています(図9左)。しかし、系統学的にはアリとは遠縁で、むしろゴキブリに近い昆虫です。シロアリは、古くから、木材を食べるが自



図9 ヤマトシロアリ(左)とシロアリセルラーゼの立体構造(右)

分で消化できず、体内の共生微生物がそれらを消化し、その共生微生物の生産物を栄養源としているとされてきました。

ところが、最近シロアリ自身がセルラーゼという酵素を持ち、自からセルロースを消化していることが明らかにされました。このセルラーゼの遺伝子は、明らかにシロアリのゲノム中にあり、特に唾液腺で多く発現していることがわかりました(図9右)。

シロアリのセルラーゼ遺伝子の構造は、酵素活性に関与する部分だけから構成されている、ユニークな構造をしています。これを利用し、さまざまな生物からのセルラーゼ遺伝子をキメラ的に組み立てることにより、各種のセルロース資源を効率的に分解できる酵素をつくらせることが期待されています。

## (2) ユスリカの乾燥休眠メカニズムの利用

### - 食品の常温保存 -

釣りの餌とするアカムシは、ユスリカという蚊の仲間の昆虫の幼虫です。ユスリカの仲間ネムリユスリカは、熱帯アフリカの半乾燥地帯の岩盤のくぼみにできる水たまりに生息しています。このユスリカは、非常に特殊な休眠形態を持っています。それが乾燥休眠というもので、水分がない乾季に休眠に入り、いったん休眠に入ると、ほぼ永久的に休眠を続けます。それが、一旦、雨などを受け、水分を得ると休眠幼虫は1時間以内に蘇生し、活動を開始するというものです(図10)。

このネムリユスリカの室内飼育ができるようになり、乾燥休眠のメカニズムが少しずつ明らかにされつつあります。乾燥休眠状態にあるネムリユスリカの幼虫は、生体を保護する生体成分としてトレハロースという糖を利用していることがその一つです。トレハロースは、昆虫の血糖として知られています。ネムリユスリカでは、乾燥休眠にトレハロースが決定的な役割を持っていました。昆虫はもともと体の節ごとにある程度独立した機能をもっています。しかし、このユスリカでは、トレハロースの蓄積に関して、中枢である脳さえも必要ともしませんでした。

現在、この乾燥永久休眠に関与する遺伝子を、カイコやショウジョウバエのゲノムデータベースから

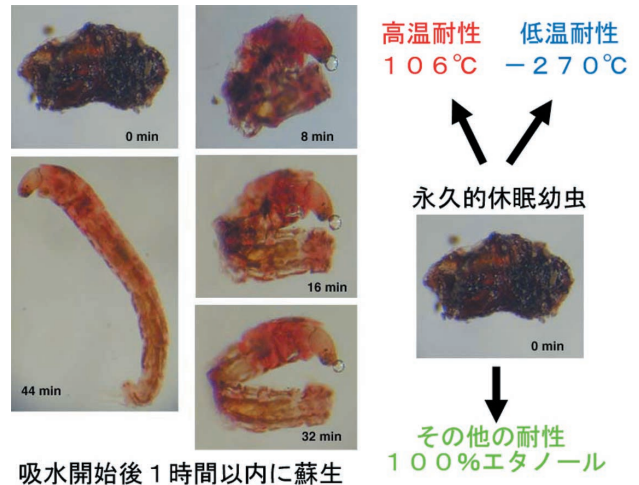


図10 乾燥状態で半永久的に休眠するネムリユスリカ

探索し、その作用機構の解明が試みられています。この遺伝子機能が解明されれば、私たちの生活のいろんな面で波及効果が期待されます。たとえば、現在、冷蔵保存されている食品類の保存です。カビさえ生える余地がないほど極端な、ユスリカの乾燥休眠メカニズムを利用することで、常温保存が可能となるでしょう。また、培養系として利用する細胞の保存、維持や、貴重生物の遺伝資源の保存・維持にも有効利用できる可能性が考えられます。

以上のように、昆虫には様々な驚くべき機能があります。我が国は、これまでカイコの研究において世界のトップレベルの研究を進めてきました。このため、この昆虫の機能を活用するための研究が日本で立ち上げられたもので、世界的に、この技術開発によってもたらされる市場規模は4兆円に上るものと推定されています。農林水産省においては、今後は「昆虫テクノロジープロジェクト」で集中的に進めるカイコゲノム解読を核にして、1)ゲノム配列情報を利用して、農業や日常生活における害虫や植物病原菌を制御する薬剤開発を行う「ゲノム創薬」、2)遺伝子組換え昆虫に有用物質を効率的に生産させる「昆虫工場」、3)昆虫特有の生体高分子を改変・複合化して、新機能を付与する「新素材開発」を推進して行きます。また、本プロジェクトの研究開発を効率的に行い、早期に新たな産業の創出を図るため、民間企業、大学、公立研究機関等が持つて

いる昆虫研究のノウハウを結集し、産学官の連携のもとに推進することとしています。

我が国は、100年以上の研究実績のもと、世界最大の遺伝資源（約650系統のカイコ）を保有し、形質転換カイコの作出技術など多くの先端的技術を有しています。「昆虫テクノロジープロジェクト」では、これらの我が国の強味を生かして研究開発を進めるとともに、カイコゲノムの高密度遺伝地図の作製やゲノム塩基配列解読などで世界の昆虫ゲノム研究の主

要な推進役を務めることとしています。

### 謝辞

本研究開発レポートの執筆に当たり、独立行政法人農業生物資源研究所 竹田敏 昆虫新素材開発研究グループ長、木内信 研究企画科長、川崎建次郎 生体機能研究グループ長の全面的なご支援を頂きました。ここに改めて感謝申し上げます。

（編集担当：研究開発企画官 大川安信）

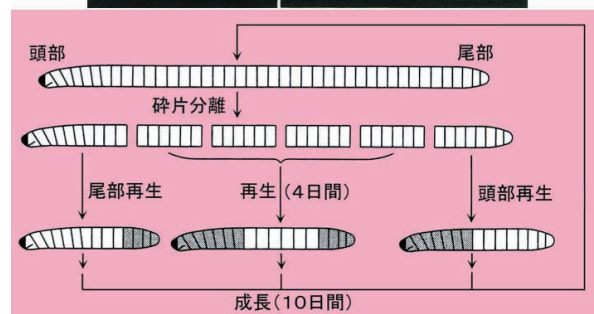
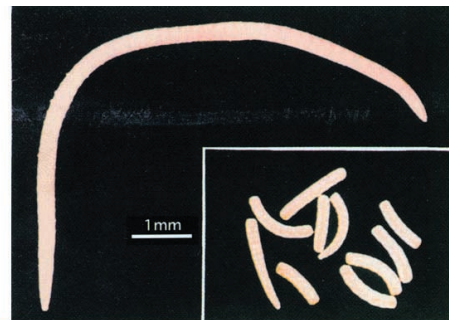
## コラム

### ヤマトヒメミミズの再生機能

昆虫の間ではありませんが、同じ無脊椎動物のミミズで生命科学のモデル生物として期待されているのが、ヤマトヒメミミズです。このミミズは最大で1 - 1.5cm ぐらいまで成長します。ところが、最大長まで成長すると、突然、自ら10力所程でばらばらに切れて1 mm 程度の断片になります。それらの断片は、どちら側が頭だった部分か、尻尾だった部分かわからない状態にもかかわらず、一晩もたつと、断片のそれぞれの端に再生部分が現れ、約4日でもとの完全な個体ができあがります。その個体が、また、10日たつと同じような切断・再生という過程を繰り返して増殖します。

2週間おきに10倍ほどに増えていき、2ヶ月もたてば、もとの1個体から約1万匹になるのです。これら1万匹の個体も元はたった1匹ですので、遺伝子組成も同一なクローンとして発生したものです。突然変異や、遺伝子導入、形質転換等で、一度、有用遺伝子がこのミミズに導入されたり、見つかったりすれば、容易に有用形質の固定・保存が可能となります。

さらに発生学的にも興味ある現象が見つっています。再生という生理現象でよく知られているのは、ヒドラとかプラナリアという下等な生物です。このミミズはこれらに比べるとはるかに高等に分化した中枢神経系を持っています。そのような中枢神経系が、体の10分の1というほんのわずかな断片からも再生され、完全な個体ができるのは驚き以外の何ものでもありません。



ヤマトヒメミミズの再生





## 本レポートについてのご意見・ご感想を募集します

今後のレポート作成の参考とするため、皆様から幅広いご意見・ご感想を E-mail、ファックス、郵便などによりうけたまわっていますので、下記宛までお寄せ下さい。

住所：〒100-8950 東京都千代田区霞が関1-2-1  
農林水産省 農林水産省技術会議事務局 技術政策課企画調整班  
（担当）森澤、石橋  
電話：03 - 3501 - 4609(直通)  
03 - 3507 - 8794( F A X )  
E-mail：www@s.affrc.go.jp

本レポートは下記からもご覧いただけます。

< URL > <http://www.s.affrc.go.jp/docs.report.htm>

## 『農林水産研究開発レポート』既刊リスト

- No .1 (2001 . 10) 麦の高品質化を目指して
- No 2 (2002 . 1) イネゲノム情報を読む
- No 3 (2002 . 5) 循環する資源としての家畜排せつ物
- No 4 (2002 . 9) 機能性食品の開発
- No 5 (2002 . 12) バイオマスエネルギー利用技術の開発
- No 6 (2003 . 3) 新たな用途をめざした稲の研究開発

農林水産研究開発レポート No.7

「昆虫テクノロジー研究」

2003年5月28日 発行

監 修 農林水産省 農林水産技術会議  
編集・発行 農林水産省 農林水産技術会議事務局  
〒100-8950 東京都千代田区霞が関1-2-1  
TEL 03-3502-8111(代) FAX 03-3507-8794  
<http://www.s.affrc.go.jp>

