

## 家畜化された昆虫たち

独立行政法人農業技術研究機構フェロー 梅谷 献二

ただ今ご紹介にあずかりました梅谷と申します。本日は生き物文化誌学会で昆虫を取り上げていただきまして、どうもありがとうございます。昆虫というものは、何となく皆さんに敬遠されて、なかなかこういう素材として取り上げていただく機会が少ないのです。

実は昆虫は既知種、名前がついている虫だけで 100 万種ほどあります。脊椎動物でいいますと、魚が 2 万 5 千、鳥が 9 千、哺乳動物が 4 千種。そういうことから考えると、これはもう大変な数なので、どんなに少なく見積もったとしても、おそらく現存種は、その実数は 1 千万種を超え、一説では 1 億種ともいわれる、地上最大の動物群です。そして、4 億年を超える進化の歴史の中でさまざまな独自の機能を発達させてまいりました。

しかし、人類とのかかわりにおいては、農林業や衛生上の有害な存在としてもっぱら防除の対象とされます。こうした中で、カイコとミツバチだけは人類が家畜化に成功した例外的な種類といえましょう。今回はこの 2 種を中心に、その家畜化の経緯をたどり、特に日本における現状と展望について考察してまいります。

近年の科学技術の急速な進歩は、ようやく昆虫類の多彩な機能を科学的に解析・制御・再構築することが可能になりつつあり、その産業的な利用開発が新たな脚光を浴びようとしています。昆虫類の利用の場面は多岐にわたり、こうした技術開発は将来的に、農業をはじめ生命科学、医学、工学などの広範な分野に対して、ほとんど無限の可能性を拓くことが期待され、昆虫こそ残された地上最大の未利用資源であるとの認識が世界的に高まりつつあります。こうした新時代を迎えて

新たな家畜化昆虫の出現が期待される一方、すでに家畜化の長い歴史を持つカイコとミツバチの利用についても新たな局面を迎えつつあるといえます。

今まで手を付けることのなかった、熱帯雨林の樹冠部、一番高い所に、最近ようやく調査の手が入るようになりました。その調査方法にはお国柄が現れて面白いのですが、アメリカは大型のクレーン車を使ってやっています。フランスは飛行船を使っています。日本はとび職の伝統を持っているので、はしごを繫いで、挑戦しております（図 1）。そういう調査の結果、アマゾンの熱帯雨林の樹冠部には、おそらく推定 2 千万種の昆虫がいるらしいことがわかりました。これがボルネオの熱帯雨林になりますと、3 千万種から 8 千万種の、まだ未知の昆虫が、その樹冠部にいるらしいのです。

日本では京都大学の生態学研究室（現生態学研究センター）が、ボルネオのランビル国立公園で、1992 年からこの調査を始めています。京大グループは樹冠部を、図 1～2 のようなはしごと吊り橋を使う方法で調査し、熱帯雨林の種類の違う木が一斉に開花する「一斉開花現象」を明らかにするなど、大変貴重なデータを残して、現在も続いているのですが、指導者で



図 1



図 2



図3

ありました井上民二教授が1992年、49歳の若さで、現地で行方不明により亡くなられ、大きな痛手を受けております。

そういう地上最大の動物群である昆虫の中で、残念ながら、人類に利用されたものは本当に数えるほどしかありません。ほとんどは人間に害するもの、ということで害虫、防除するもの、制御するものという扱いを受けてきました。その中であって、人間に古来から利用されたものが、先ほど述べましたように、カイコとミツバチです。本日はこの2種の虫を中心にお話しますが、ミツバチについてはこのあとの演者によっても述べられますので簡略にとどめます。

### ミツバチ

図3はスペインの洞窟に残された有名な絵で、女性がミツバチの巣からミツを採る、8千～9千年前の先史時代の壁画です。かくもミツバチは古くから、人類とは切っても切れない縁を持ってきた昆虫なのです。

このような狩猟採集ではなく、いわゆる養蜂



図4

の歴史でも、おそらく5千年ぐらい経っているのではないかと推定されています。これは玉川大学の資料に拠ったのですが、紀元前2500年頃にはエジプトに、すでに職業としての養蜂があったと、松香さんは述べています。また、旧約聖書にはイスラエル人がめざしたカナンの地を、「乳と蜜の流れる地」という言葉で書かれています。セイヨウミツバチの養蜂は地中海沿岸から始まりました。

ところが日本の養蜂は、これとはまったく起源を別にして、トウヨウミツバチの亜種、ニホンミツバチという種をもって独自に始まっています。江戸時代には奨励策もあって、盛んに養蜂が行われるようになりました。干し柿と並んでハチミツが当時の主要な甘味源として普及しました。

ニホンミツバチは蜂洞という、木をくりぬいた特殊な容器で飼われています(図4)。今でも細々ですが飼われていて、蜜の質が非常にいいことと、花粉媒介昆虫としても優れた特性があることから、これを復権させようという運動が各地で盛んに行われています。また、ニホンミツバチ専用の巣箱も玉川大学で開発されています。

図5は江戸時代に書かれた「日本山海名産図絵」にある、有名な「紀州熊野の養蜂」という図です。

ところが明治9年(1876年)、セイヨウミツバチが欧米から導入されました。ニホンミツバチは黒みがかった色ですが、セイヨウミツバチは黄色く、おなじみのミツバチです。世界的にも「ミツバチ」といえば、ほとんどこのセイヨウミツバチを指しているようです。

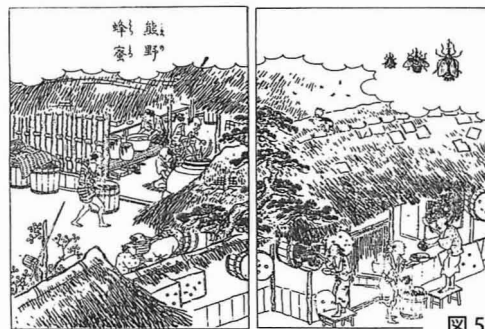


図5

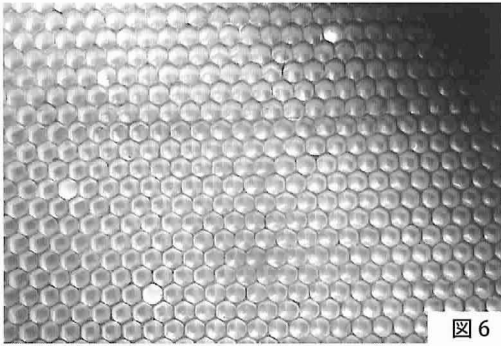


図6

さすがにセイヨウミツバチは家畜化の歴史が違いました。集蜜能力、おとなしさ、飼いやすさ、すべてのものが、ニホンミツバチより数段楽だったわけです。蜜質はニホンミツバチの方が優れているのですが、それですっかり職業的な養蜂は、トウヨウミツバチ・ニホンミツバチからこのセイヨウミツバチに替わって、現代に至っております。これはまさに、文字通り改良も加えられて家畜化された、昆虫といえます。

地中海沿岸地方で発達したセイヨウミツバチによる養蜂は、大航海時代を経て世界的に進出を果たしました。ただ「ミツバチ=ハチミツ」という図式は、近年急速に変わろうとしています。

図6はミツバチの巣の写真で、ハナバチの仲間の中でも一番特殊なのですが、ろうで巣を作ります。蜜ろう、専門家は蜂ろうと呼んでいます。このワックスは、いわゆる石油ワックスのなかった時代に盛んに、ろう樹脂として利用されていました。特に燃やしても煤が出ない特性がありまして、ヨーロッパにおきましては、中世の教会のろうそくは、ほとんどがこの蜂ろうが使われました。石油ワックス(パラフィン)では得られない生物ろうとしての優れた特性が最近大きく再評価されようとしています。電気



図8



図7

機器の絶縁材、食品・医薬品のコーティング剤、工業製品の離型剤など多方面の近代的な用途開発が研究され、使われだしています。図7は蜜ろうで作ったろうそくです。

また皆さんよくご存じのように近年、ローヤルゼリーやプロポリスなどの生産物の機能が注目され、ほとんどは輸入に頼っているんですが、健康食品として日本は世界一の消費国となっています。

日本の医薬は、ご存じのように、日本薬局法によって規制されています。ところがこの二つ、ローヤルゼリーやプロポリスはまだ薬局に薬としては出ていません。効果が人によって違うとか不安定なところがあるのでしょうか。

現状では日本薬局法で、昆虫(生産物)は、たった二つしか出ておりません。両方ともミツバチ生産物で、一つはハチミツです。これは栄養剤、甘味料、舐める舐剤、丸薬の結合剤として。もう一つが蜜ろう、蜂ろうです。これは薬品のコーティング剤、化粧品、医薬品への添加などとして、日本薬局法に出ています。さらに、今はその他にOA機器の断熱材、絶縁体などにも使われています。

それからもう一つ、まだ一般的ではないので



図9

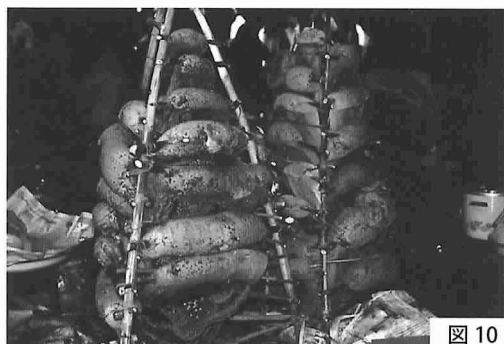


図 10

すが、ハチの食用としての利用があります。世界的に見れば、食虫はたいへん普遍的に行われています。図8(中央)は日本で有名な、「蜂の子」です。これはクロスズメバチというハチの幼虫で、中にはほとんど成虫になったものが含まれています。昭和天皇が大変好物であられたと伝えられています。日本にもこのような食虫の伝統というものがあります。

図9は、松香さんに行ったタイのチェンマイで出されたミツバチの料理です。ミツバチが巣ごとホイル焼きになっていて、幼虫を食べるんです。巣がジャリジャリして、別においしいものではなかったんですが.... タイ北部の少数民族社会ではこういう食用的利用がさかんです。タイ北部地域、ミャンマー、それから中国南部、雲南省南部。いわゆる「ゴールデン・トライアングル」、麻薬の大産地といわれたこの地帯に、そっくり重なって、世界有数の食虫地帯を形成しております。図10は、バンコクのサンデーマーケットで売られているコミツバチという種類の巣です。一つ100円ちょっとぐらいの売値です。

最近、日本でも、養蜂家にとって大敵であるオオスズメバチを焼酎に漬けてずいぶん高い値



図 12



図 11

段で売ってます(図11)。これは歴史が非常に浅くて、ルーツは台湾なんだそうです。台湾には6種か7種のズメバチがいますが、台湾でズメバチを食べだしたのは、1980年代になってからです。松浦誠さんの話では、その後、焼酎漬けも台湾で開発され、その手法が日本にもたらされたとのことです。

それに対して中国でのハチ食は大変古く、歴史に記述が残っております。もう1000年以上もズメバチを食べていて、特にこの習俗は南部地方で多くみられます。シーズンになると露店で大量に売られています。図12は雲南省のスズメバチの巣で、種類はオオスズメバチの仲間のウンナンオオスズメバチです。

図13は昆明のレストランの蜂の子料理の写真です。中華料理の中で普通に食べられています。ズメバチの子は、重量あたり牛肉の十倍ぐらいの値段になり、そう簡単に食べられる食材ではないのですが、大変好んで食べているということです。

それ以外の利用としては、最近、ヴァームという健康飲料水が市場に出ています。あの高橋尚子、マラソン選手をコマーシャルに起用して、一躍有名になりました。ヴァーム(VAAM)と



図 13

というのは、Vespa Amino Acid Mixtureの略です。スズメバチは、いろいろな虫を狩るわけですが、実は自分では食べないで、すべて幼虫の餌になるわけです。団子にしてかみくだいて与えます。そして、この強力なスズメバチの働き蜂は何を食べているかといえば、幼虫が口から吐き出した流動食です。幼虫と成虫の間にはギブアンドテイクの関係が成立しております。スズメバチはそんな流動食を食べて、なぜあしたスタミナが出るのか。きっとこれは大変な組成の食べ物だろう、と、この流動食を分析したところ、やはり特殊なアミノ酸組成があって、その組成をそのまま模倣したのがヴァームなのです。

ただし、ヴァームも薬局方には出てはおりませんので、薬品としては売れず、健康飲料水として売っています。直接の昆虫の利用ではないけれども、こういうやり方もまた、昆虫食、いわゆる昆虫の機能を利用する、という一つの方法といえましょう。

さらには、近年、ミツバチは花粉媒介昆虫としての需要が大きく、日本のハウス栽培のイチゴやウリ科作物では不可欠な存在になっていて、その目的のための売り蜂や貸し蜂による収益がハチミツによる収益を上回るほどの現状にあります。いまや「ミツバチ＝ハチミツ」という古来からの常識は大きく変貌を遂げつつあります。ミツバチは、「ハチミツも生産する虫」に、今変わりつつあるのです。

## カイコ

次はカイコです(図14)。カイコも5千年くらいの歴史があります。中国で、クワの害虫で

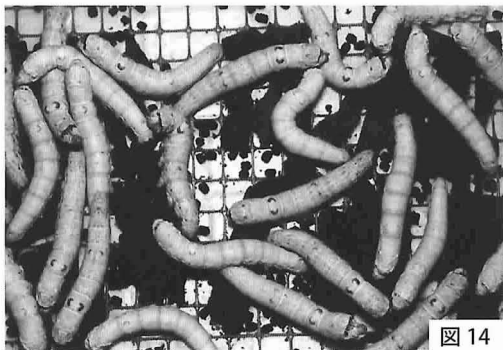


図14

あるクワコを改良して現在のカイコになりました。現在ではクワコとは別種とされています。カイコには、野生のものはひとつもなく、すべて人為条件でしか飼えない虫になっています。

日本は、1930年代頃の養蚕の最盛期には30万tの生糸を生産していました。その生糸は当時、日本の輸出産業の花形として一翼を担っていました。「お蚕様」ともてはやされていましたが、最近はずっかり、輸入絹糸に押され、またナイロンなど人工繊維が主流になり、衰退しています。日本は今も世界一の生糸消費国ですが、国内養蚕はほとんど壊滅寸前。30万t生産していた生糸が、今はわずか2000～3000t、それを割ろうとしております。

しかし、日本では特異的に養蚕技術が発達しました。中国から入ってきたのはおそらく5～6世紀頃、おそらく卑弥呼は、絹の衣類をまとっていたと思われまふ。それほど古い歴史がありながら、江戸時代までは、まだ小さい繭でした(図15)。ところが、1905年に日本の外山亀太郎博士が、一代雑種を養蚕に用いるという画期的な方法を発表しました。そうして繭の生産が二倍ぐらいに上がったわけです。そういう技術が特異的に発達して、日本は養蚕技術ではいまでも世界一の国です。この技術はこれからも、東南アジア、タイ、インドなどで、盛んに利用されていくと思われまふ。

カイコの交配は大変です。なぜならカイコの成虫は羽化するとすぐに交尾してしまうからです。そこで繭の中から蛹を取り出して、品種別に蛹のうちに雄雌を分け、そして交配させます。これに対して、近年、日本では、画期的な技術が開発されました。それは、雄と雌とで、繭の



図15





図 16

色を違える技術で (図 16), これによって, 繭を切り開いて分ける必要がなくなりました。

幼若ホルモンの利用技術もあります。これは幼虫の形を保持するホルモンで, これを処理することで, 蛹にさせずに, もう一度脱皮させて幼虫を大きくする。この操作によりその繭が鶏卵ぐらいの大きさになるのに成功しました (図 17)。写真の真ん中が標準の繭です。また小さな, 極細の糸を得る繭を生産, こういう技術も見事に完成しています。

また, カイコの沢山の品種の中には, ちょっと味覚がおかしくなった系統もあります。写真のカイコはリンゴを食べています (図 18)。もちろん, 普通のカイコはクワの葉以外を餌にすることはできないのです。ところがこの系統は与えればリンゴでもカステラでも食べる。味覚がおかしいカイコがどういう役に立つかといえば, 現在の人工飼料にはクワの葉を使わなければならないが, 大変高価なものになるのです。その味覚がおかしいカイコの形質を有用種に導入してやれば, クワの葉を入れない, 安い人工飼料でカイコを飼うことができる。こういう技術も日本が開発しています。

カイコもまた, 「カイコ=絹糸」という図式



図 18

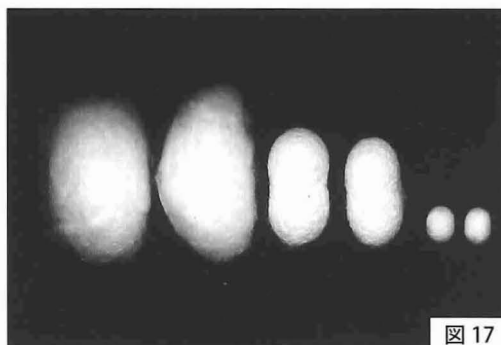


図 17

から大きく変わろうとしています。絹タンパク質の化粧品・機能性食品などへの多目的利用が行われています。そのひとつに絹膜の利用があります。これは糸を融かして, そのタンパク質で膜を作ります。この絹膜は, 空気の透過性が良く, 透明度も良いものです。それで, 人工皮膚とかコンタクトレンズ, そういう開発プロジェクトの研究が進んでいます。いかに空気の透過性が良いかといえば, 図 19 の右はサララップを, 左は絹膜を貼ったもので, 絹膜で覆われた, 左の方の金魚は元気ですが, 右の金魚は酸素不足になっています。

カイコは昆虫学の中でも特異的に発達した分野であり, 昆虫学用語とは全然別の用語を今でも使っています。カイコが優れているのは, 低コスト大量飼育技術が確立されていて, 斉一な材料を大量に安価に提供できるところです。今や品質の安定しているカイコは絶好の実験動物として世界的に利用され, バイオテクノロジー研究の花形的存在になっています。

1960年に, ドイツのブテナントによって, 日本から送られた 50 万匹のカイコから, 初めて性誘因物質が抽出され, 構造が決定されました。性フェロモンといわれています。その後,

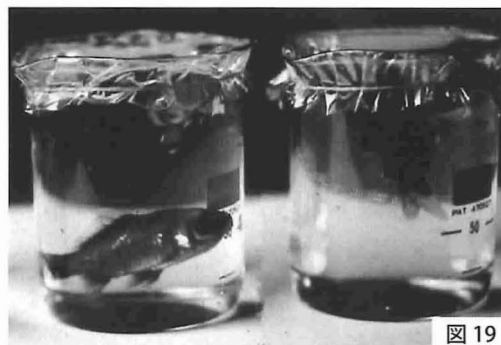


図 19

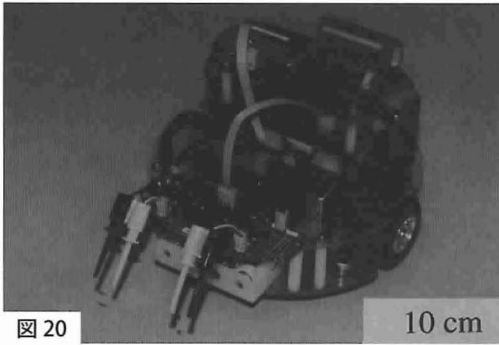


図 20

10 cm

いろいろな昆虫で性フェロモンの構造が明らかにされ、害虫の誘殺や雌雄の交信攪乱用に農薬として登録されたものも少なくありません。

一方、一般家庭で使う都市ガスはガス漏れがしばしば問題になります。ガスの臭いがしても、漏れている場所を特定するのが大変難しいそうです。そこで考案されたのが、臭い源探索ロボットです（図 20）。カイコの雄は、たった一分子の雌のフェロモンを感知します。そこで都市ガスの中に薄い濃度でフェロモンを入れておきます。そしてガス漏れの時に、この機械を放します。先端には、生きた雄の触角がつけてあります。そうするとこの触角が、フェロモンの臭いを感知して、自分で走って行き、ガス漏れの場所を感知するのです。ただ、バイオセンサー実用化への最大の欠点は、この生きた触角が、24 時間しか寿命がないという点ですが、こういうユニークな研究も今始まっています。

カイコで、今、最も注目されているのがカイコ病原体の核多核体病（バキュロウイルス）です（図 21）。核内の大きな封入体をつくる細長いウイルスが、バイオテクノロジーによる有用物質生産のための遺伝子導入ベクターとして有用性が認められ、カイコ生体との系を用いたベ

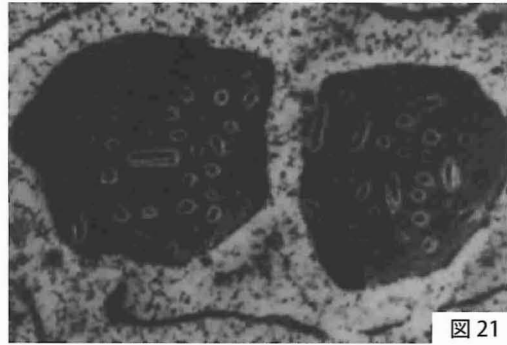


図 21

クター系が開発されました。バキュロウイルスの遺伝子の一部を外来遺伝子に置き換え、この組み換えウイルスを、カイコの終齢幼虫に接種します。カイコの生体内でたちまち増えて、ウイルスが増殖したカイコから体液を採取します。そして分析してみると、ちゃんと有用物質が発現しています。このカイコの体内で生産する方法で、いろいろな希少物質を大量に作る研究が、今世界的にしのぎを削って進められています。バキュロウイルスは大腸菌にはない優れた特性をもっています。日本でこれで生産されたネコインターフェロンなどは、すでに発売されています。

カイコもまた、食料として、養蚕を行うところでも、普遍的に食べられます（図 22 左）。図 22 右は中国の杭州でみた、蛹の料理です。中国人は大変好きなようです。僕は戦時中に無理に蛹を食べさせられて嫌な思い出があるので、嫌いですが、中国で食べたら、それほどのもことなく食べられました。図 23 はバンコクのサンデーマーケットで売られていた、蛹の唐揚げです。これがタイシルクを作っているわけです。カイコもまた、まったく新しい素材としての道を今歩もうとしています。



図 22



図 23



図 24

### カイガラムシ・アブラムシ

そのほか、第三の家畜昆虫として、いくつかあります。図 24 はイボタロウカイガラムシが分泌したホワイトワックスで、図 25 が、そのろうを融かして採った、白ろうです。日本では昔からこのワックスを、戸の下に塗って滑りを良くするとか、ろうそくを作るとか、効果は不明ながらイボ取り用の薬にも使われていました。物理化学的に安定した物質で、純白に精製できることがわかり、多目的利用が期待され、今では中国の南部で、計画生産をしております。その研究指導のために僕は何回か中国に行く機会があって、それについては、当学会の機関誌「ビオストーリー」の 1 号に少し詳しく書いてありますので、関心のある方はぜひ入会していただき、お読み下さい。よろしく願いいたします。

図 26 はラックカイガラムシです。東洋熱帯だけにしかない種です。ラックカイガラムシは、いろいろな樹木に集団で寄生して、樹液を吸って樹脂物質を分泌します。この体を覆う樹脂物質がシェラックと呼ばれ、今でも食品のつや出し剤、薬のコーティング剤、接着剤などい



図 26



図 25

ろいろなものに使われております。かつてレコードの音盤は全部これを使っていたので、大変な消費量でした。主産地はタイとインドで、数種類がありますが、これが最も使われている種類です。

図 27 はコチニールカイガラムシです。この成虫の中に濃紅色、赤い色素、体色素があつて、ヨーロッパでは昔から盛んに食品色素として利用されてきたのですが、もともとはメキシコを侵略したスペイン人によって、伝えられたものです。メキシコで、ウチワサボテンに寄生するカイガラムシで、その成虫を干したもの(図 28)が商品そのものです。これを水で溶解すると、真っ赤な染料になります。日本でも盛んに輸入して、衣類の染料、口紅の赤い染料、それから食品の染料として利用されております。今でも赤く着色した食品をマーケットで買うと、その成分表示の中に時々、コチニールの文字をみます。

図 29 はヌルデシロアブラムシなど数種のアブラムシが集団で作る虫コブで「五倍子」とも呼びます。虫コブはタンニンを多く含んでいて、かつてはインクの製造や、日本では古来女性が歯を黒く染めたお歯黒としても使われて



図 27



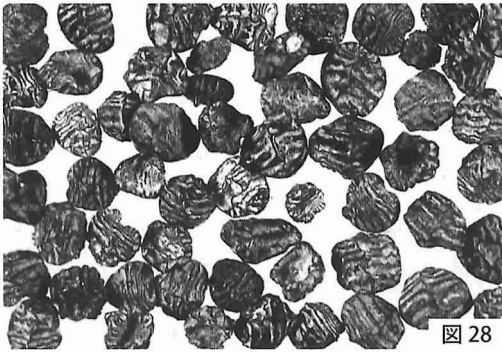


図 28

いました。今でも医薬・食品の酸化防止剤，防かび剤，酒類などの清澄剤のほか，多彩な用途があり中国で生産されたりしています。図 30 は虫コブの中身です。ものすごい数の幼虫が中にいます。

### 昆虫産業の未来

昆虫はその膨大な種数に対応して，摂取する食物，環境への適応，成長・代謝の速度などさまざまな側面において圧倒的な多様性とその機能を示します。益虫・害虫を問わず，この多種多様な機能＝遺伝子を解明し，利用することによって，きわめて効率性の高い資源技術の開発が可能であります。昆虫はいわば 21 世紀最大の未利用資源なのです。

こういう昆虫産業というのは将来どのくらい発展が期待されるのでしょうか。現在の昆虫の関連産業は農薬を除けば，養蚕・養蜂を中心に，年間 2600 万円ぐらいの売り上げです。しかし，この調査時の 40 年後，2030 年にはおそらく 5 兆円ぐらいの規模の昆虫産業が発達するだろうと予測しています。

カイコのゲノムを解読することによって同じガ類の害虫に対し効果を有する薬剤，とりわけ作用点がまったく新しくかつ抵抗性の発達しにくいその開発に結びつくことも期待されます。特に，昆虫のゲノム解析やバイオ技術の利用による新たな抗菌物質などの昆虫由来の有用物質や医薬品の生産，昆虫の遺伝子を導入した病害虫抵抗性作物の普及など大きな発展が予想されます。それから昆虫はロボットやマイクロマシンの絶好のモデルとして注目され，その方面の開発研究も盛んに進められております。



図 29

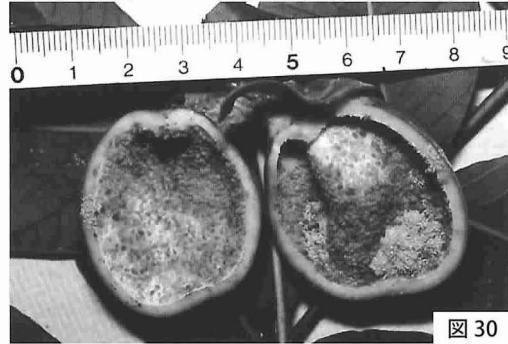


図 30

僕は農水省の研究機関で長く害虫を防除する仕事に携わり，愛する虫たちを殺戮してきました。そして，そうした職業上のしがらみから解放されてからは，贖罪の意味も込めて昆虫を生かす道を考えたいと思い，昆虫の産業的利用研究の民間支援プロジェクトを企画し，その旗振り役を担ってきました。この 5 兆円産業への夢も，その時三菱総合研究所に依頼した予測結果です。2030 年といえば，僕は 100 歳になります。そしてできればこの予測の行く末を自分の目で確かめたいと念じています。

(〒 305-0856 つくば市観音台 1-1-17)

### 図の提供

図 1, 2：京大生生態学研究中心

図 6, 7：玉川大学ミツバチ科学研究施設

図 19, 20：農業生物資源研究所