



東京大学農学部公開セミナー 第51回

「農学における芸」

講演要旨集

~~~~~ プログラム ~~~~~

【 開会の挨拶 】

13:35~14:25

#### 結晶からのぞく酵素の芸術

応用生命工学専攻

教授

伏信 進矢

【 休憩（10分） 】

14:35~15:25

#### 暮らしを支える園芸学

生産・環境生物学専攻

教授

柴田 道夫

【 休憩（10分） 】

15:35~16:25

#### 「樹芸」の視点で考える社会の方向性

附属演習林樹芸研究所

所長・准教授

鴨田 重裕

【 閉会の挨拶 】

司会

准教授

飯田

俊彰

日 時 2016年11月12日（土）13:30~16:30  
場 所 東京大学弥生講堂・一条ホール  
主 催 東京大学大学院農学生命科学研究科・農学部  
共 催 （公財）農学会

# 結 晶 か ら の ゼ く 酵 素 の 芸 術

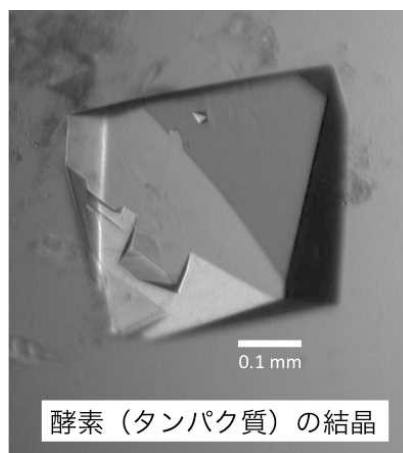
応用生命工学専攻 教授 伏信進矢

## 1. 酵素のかたちを明らかにする技術：X線結晶構造解析

酵素とは生物が作る触媒のことであり、「生きる」ために必要な分解・代謝・合成など、さまざまな化学反応を助けている。酵素の正体は（ごく一部の例外を除いて）タンパク質である。細胞の中で遺伝子を設定図として作られる多種多様なタンパク質のうち、酵素としての機能を持つものは少なくない。例えば、ヒトのゲノムにはタンパク質を作る遺伝子が 20,000 以上あるが、そのうち約 2,700 個が酵素としてはたらくと推定されている。

タンパク質は、遺伝子の DNA 配列をもとにして 20 種類のアミノ酸が数百から千個程度、鎖のように連なってできた「巨大分子」である。巨大といっても、一般的な化学物質に比べて大きい、というだけで、数ナノメートルからせいぜい数十ナノメートル程度の大きさしかない。酵素がどのようにしてはたらいっているのかを調べるには色々な方法があるが、やはりそのかたちを「見る」ことが一番理解しやすい。しかし、普通の顕微鏡ではもちろん見えないサイズであり、電子顕微鏡を用いてもはっきり見えないことが多い（ただし最新鋭の電子顕微鏡と画像解析の技術はこの「解像度」の壁を打ち破りつつある）。現在、酵素のかたちをはっきりと見るのに最も適してよく使われている手法は、「X線結晶構造解析」である。

実は、酵素（タンパク質）を「きれいにして」、「結晶にする」ことは簡単なことではない。いくつもの困難を乗り越えて作ることに成功したタンパク質の結晶は、外見的に美しいものもそうでないものもある。見た目がよいからといってよいデータが取れるとは限らないのが面白いが、本当の美しさはその中に秘められている。タンパク質の結晶が得られたら、つくば市の高エネルギー加速器研究機構・フォトンファクトリーや、兵庫県の SPring-8 といったシンクロトロン放射光施設に持ち込んでデータを取る。ここでは強力でもとても細い（数十マイクロン以下の）X線ビームが得られるので、それを結晶に当てて得られる「回折像」を測定して計算することにより、微細なタンパク質のかたちを、三次元でまるで手に取るように見ることが可能になる。

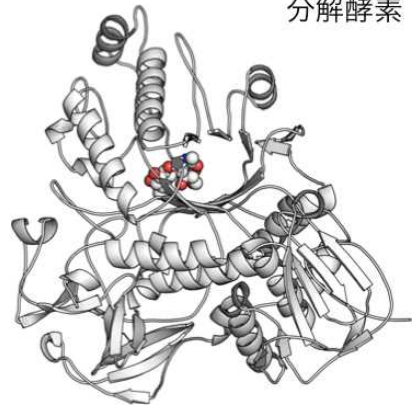


## 2. 酵素の万華鏡：かたちもはたらきもさまざま

酵素は何種類あるのか、という問いに答えるのは容易ではない。酵素が触媒する化学反応の種類、というのであれば、国際的な研究者の連合組織により認められた数は現時点で約 7000 種、しかも毎年 50 種ほどのペースで増え続けている。ところが、かたちが全く違う酵素が同じ反応を触媒する、ということはしばしばあるので、それらを別の酵素とするならば酵素の種類はもっと多いことになる。

タンパク質のかたちを細かく見ると、主にアミノ酸の鎖がらせん状になった「 $\alpha$ -ヘリックス」とシート状に並んだ「 $\beta$ -シート」からなるので、模式的に描くと、一本の鎖が複雑に折りたたんでコンパクトになったかたちをしている。この折りたたみ方は少なく見積もっても 1,000 種類を超えている。生物はその進化の過程で様々なタンパク質や酵素を生み出してきた。酵素は、触媒する分子がきっちりとはまるポケットを持ち、そこで決められた化学反応だけが起こるようにできている。生物が作り出した自然の妙は、この酵素のかたちとはたらきに見事にあらわれていると言えよう。

ビフィズス菌の母乳オリゴ糖分解酵素



## 3. 温泉に棲む微生物の不思議な酵素：2つの反応を触媒するFBPAP

ヒトが持つ 2000 種を超える酵素遺伝子も、触媒反応の種類で分類すると 1000 種程度しかない。実は、7000 種を超えるとされる酵素の大部分は、微生物から見つかっている。その中でも特に変わっている酵素が「FBP アルドラーゼ／ホスファターゼ (FBPAP)」である。この酵素は、温泉や海底の熱水噴出孔といった非常に高い温度環境に棲む微生物から見つかった。彼らは生命の起源に近い代謝系を残していると言われていたが、FBPAP はなんと、2 種類の全く異なる反応を触媒できる。X線結晶構造解析の技術により、そのポケットがかたちを変えて、まるでお手玉のように 2 つの反応を行なう様子が明らかになった。

## 4. ビフィズス菌が母乳のオリゴ糖を分解する酵素：共生と進化

乳幼児の腸内細菌は、そのほとんどがビフィズス菌で占められているが、その理由は、ビフィズス菌が、母乳に含まれるオリゴ糖を「食べて」増殖できるためである。私たちは近年、ビフィズス菌が持つ母乳オリゴ糖の分解にかかわる酵素のかたちを次々に明らかにしている。そこからは、ビフィズス菌がユニークな酵素を進化させてヒトと共生関係を築いてきた様子が見て取れる。

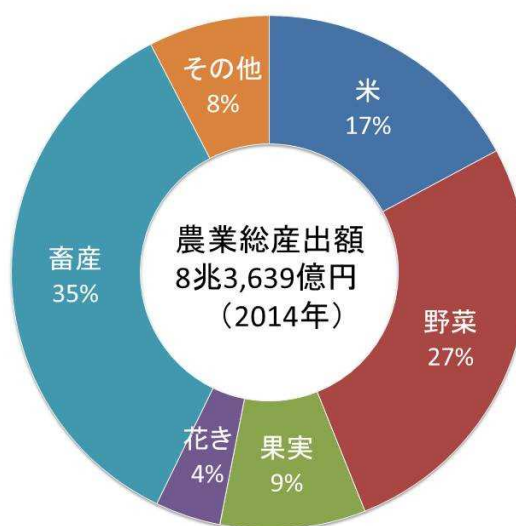
# 暮らしを支える園芸学

生産・環境生物学専攻 教授 柴田道夫

## 1. 園芸とは

園芸とは17世紀に登場した用語で、比較的狭い土地で囲いをして、植物を保護しながら栽培管理することを意味しています。実は英語のHorticulture (hortus+culturaから生まれた造語)もほぼ同じ時期に同じ意味合いをもって生まれました。放任した栽培ではなく、いろいろと手間をかけながら作物を育てるといったことから、現代の園芸作物の生産・流通にはさまざまな技術や工夫が駆使されています。

園芸作物には果樹、野菜、花き(花卉)が含まれます。果樹とは「食用となる果実および種子を生産する木本性植物およびバナナ、パイナップルなどの多年生草本」を、野菜とは「主穀を食べる際に添えられる副食物であり、また、ビタミンやミネラルなどの供給源として重要な草本性植物」を、そして花きとは「花を観賞する木本性および草本性の植物や観賞価値のある草本性の植物」をそれぞれ示します。その用途は、嗜好品であったり、副食物であったり、観賞用であったりときわめて多様です。これら園芸作物は私たちが健康で豊かな暮らしを営む上で不可欠な存在ですが、そのほとんどが生鮮状態で消費者の手にわたるために、園芸作物は長期間の貯蔵には不向きです。そのため、さまざまな生育・開花・結実調節を行う技術が駆使され、周年にわたって生産・供給されています。農林水産省による最新の2014年の統計をみると、8兆円を超えるわが国の農業総産出額の約四割が園芸作物で占められています。この数字は米などの普通作物や肉や牛乳や鶏卵といった畜産物を上回るもので、カロリーベースで見れば低いものの、産出額で見るとわが国の農業生産上、最も大きな割合を占



農林水産省平成26年生産農業所得統計を元に作図

図1. 農業総産出額に占める園芸作物の割合

める作物となっています。

日本には約四千種の植物が自生するとされていますが、日本原産の野菜や果樹となるとごく一部に限られています。花きでは江戸時代に大きく発展したツバキ、ツツジ、キクなどが挙げられますが、今日生産される園芸作物の多くは明治以降に導入されたものです。園芸作物ならびに園芸に関する応用科学として体系づけられた園芸学も、明治以降になってから確立された学問です。現在はミカンと並んで生産の多い果物であるリンゴも、明治以降にアメリカから導入されました。しかし、戦後になってから日本で育成された品種「ふじ」は、わが国のみならず世界中で生産されるようになり、2001年には世界で最も多く生産される品種となっています。品種「ふじ」の普及例はわが国の園芸そして園芸学のレベルが世界的にも優れていることを示す好例と言えるでしょう。

## 2. キクの生産・流通を支える園芸学研究の成果

演者が主な研究対象としている花きのキクにおいて特筆できる栽培技術や品種育成の例を紹介します。

2015年におけるわが国のキクの出荷本数は15億8,100万本で、世界一の生産量を誇っています。これに海外からの輸入の約3億本を加えたキクがほぼ国内消費されていることから、わが国は世界一のキク生産、消費大国といえます。キクはもともと東アジア原産の花きで一旦17～19世紀にかけて欧米に渡り、20世紀になって再び営利生産用にわが国に逆輸入されてきた経緯があります。1920年の植物の光周性の発見により、短日植物であるキクは日の長さを制御することにより周年にわたって開花させる技術が欧米では確立されました。しかし、中緯度に位置し夏季に高温となる日本では当初同一生産地での周年栽培が困難で、夏は高冷地、冬は温暖地といったリレー栽培により周年供給が図られてきました。1980年代の後半になって高温開花性を有する品種を組み合わせたわが国独自の周年生産体系が確立され、現在はより安定的にキクが供給されるようになっています。

一方、キクの花色は、花卉における赤紫色のアントシアニンと黄色のカロテノイドという2種類の色素によっています。キクのアントシアニンは赤紫色を呈するシアニン誘導体のみで、より赤みがかったペラルゴニン誘導体も含むバラやカーネーションよりも花色変異に乏しく、バラやカーネーションと同様にデルフィニン誘導体を欠くために青みがかった花色が存在しません。二倍体であるカーネーションや四倍体であるバラと比較して遺伝子組換え技術の応用に時間を要しましたが、2013年になって六倍体であるキクにおいても、青色化（フラボノイド 3' 5' 水酸化酵素）遺伝子をキクに導入することで、これまでになかった青紫色の花色のキクの作出が報告されています。実用化にはもう少し先になると思われませんが、これまでになかった青色系の花色が加わることによってキクの需要拡大が期待されています。

# 「樹芸」の視点で考える社会の方向性

附属演習林樹芸研究所 所長・准教授 鴨田 重裕

## 1. 樹芸研究所について

東大演習林では「地名＋演習林」とネーミングする慣例があるが、伊豆演習林としないで樹芸研究所としたのはどういう思いを込めてのことであったか。私たちは2011-2020年度の10年計画を立てるに当たり組織のあり方を大きく見直した際に、この「樹芸研究所」の名称を継承することを確認した。このとき「樹芸」という言葉を、樹に親しみ、樹を暮らしに役立て、樹を育むことを包含する、「林業」と少し異なる樹木との付き合い方と捉え直した。そして名称の通り、樹芸教育・樹芸研究に資源を集中する計画を立てた。「樹芸」は、かつて日本人には当たり前であったが、資本主義経済のうねりの中で「経済的でない」という理由で消えてしまったり、あるいは消え去ろうとしていたりする。しかし、それらを捨てることに真に「経済」的に合理性があったのであろうか。「経済」という言葉自体、もはや経国済民からだいぶ変質してしまった感がある。モノの本質をしっかりと見詰め直し、総合的に熟考すれば、失われつつある「樹芸」の幾ばくかは、現代の私達の暮らしに取り戻すべきものかも知れない。かつての非林業的な樹木との付き合い方の中に、現代人が学ぶべき資源利用のヒントが隠されている。一見の合理性により切り捨ててきたことの中に、一緒に捨て去ってしまった大切なものがあったかも知れない。「樹芸」という教材は、そういう合理性の履き違いの可能性を、教育を通して次代に伝えて行くことができる。

## 2. 紫者 灰指物曾 海石榴市之 八十街尔 相兒哉誰

万葉集から一首。歌の解釈はさておき、注目いただきたいのは上の句「紫は灰さすものぞツバイチ(椿)の」の部分である。これは古代より紫染めに椿の灰を媒染剤として使用していたことを示す一句とされている。「樹芸」の好例と思いここに紹介する。万葉集とは何の脈絡もなく樹芸研究所では東大生1, 2年生を対象に体験型ゼミナール「伊豆に学ぶ」を実施している。その流れで五月祭や駒場祭でイノシシソーセージの燻製など販売しているのでご存じの方もおられるかも知れない。様々な体験に身を投じて、感じ考えてみようという講義である。薪を割り、石窯を組み立てて、ピザを焼くというアクティビティがある。異なる樹種を割らせて樹種による割れ具合の違いにも注目させるが、石窯料理の際にひと班のみ薪をツバキだけに限定する。万葉の時代に倣ってツバキのアクで媒染を行う植物染色のアクティビティにつながる仕掛けである。ツバキがアルミニウムを集積するという「芸」ある

植物だということを知り、それを利用してきた先人の知恵に触れる体験である。本日はこのような「樹芸」をキーワードとして、樹芸研究所の取り組みを少し紹介したいと思う。

### **3. 森からプラスチック原料が採れたって本当？**

おそらくはこう言われても誰も信じないであろう。森からプラスチック原料など採れるはずがないと。でも 100 年ほど前には森からプラスチック原料を採っていたそうだ。しかも、日本はその生産量が世界一であったという。本当のことだったのだ。その森の樹木はクスノキであり、原料の正体は樟脳である。その人類が初めて手にしたプラスチックとは、もうお分かりかも知れない、そうセルロイドのことである。その樟脳はカンフルとも言って、動物に対する生理活性が高い物質である。タンズに入れれば防虫剤になるし、クスノキは全部位にカンフルが満ちているためかシカの食害をほとんど全く受けない。萌芽再生能力はありふれた「芸」と思われるかも知れない。ナラの類は樹齢が上がると萌芽能力は著しく低下する。100 歳超のクスノキはどうだろう。20m×20m の方形区に入る 13 本を伐採し、試験してみた。全てから見事に萌芽し、シカにも食われずグングン伸びた。シカ柵をしないで、こういう事はクスノキ以外では中々おこらない。

### **4. ユーカリに拙速の足かせ？ 60 年前の負の遺産をどうする**

ユーカリの「芸」は一番にその成長の早さである。しかも、スカスカではなく非常に重い。気乾比重でスギの 1.5 倍から 2 倍ある。CO<sub>2</sub> の固定能力はスギの 10 倍以上あってもおかしくない。蜜源にもなるし、ユーカリオイルも取れるとなれば、立派な樹芸樹木である。生長が早く半年で 2m の樹高を稼げば下草刈りが不要となり、大きなコスト削減になる。早く大きくなるうえに密度も高いのだから使わない手はなさそうである。ところが、およそ 60 年前にかなり大掛かりなユーカリの試験を行ったにもかかわらず、その後しばらく表舞台に登場しない。ちゃんとした苗の供給の確立を待たずに拙速に試験が開始されたように見受けられる。ユーカリはダメという悪い印象、この負の遺産を乗り越えて、日本林業の財産としたい。

### **4. 第一次産業を軽視しない産業構造の改革が必要な日本社会**

第一次産業は、地球外から降り注がれる太陽エネルギーを地上に固定するという意味で、あらゆる産業の中で最も生産性が高い産業と捉えることもできよう。これを軽視する風潮は改めるのが得策であろう。第一次産業を現在の日本産業の最弱点とみるならば、それを強みに変換する方向性が探られるべきであろう。産業構造全体を見渡して、どこに注力すべきかを自律的に判断し、健闘できる人材の育成が急務である。いま、樹芸研究所ではこのような視点があることを東大生に示す教育に取り組んでいる。樹芸を活かした教育が東大生に浸透して、やがてこの国のありようを少しずつ確実に変えてくれることを期待するものである。教育の可能性を信じて、今日もがんばろう。

## プロフィール

ふしのぶ しんや  
**伏信 進矢**

応用生命工学専攻 酵素学研究室

### 主な研究活動

酵素の研究をしています。主に、糖質に作用する酵素のかたちや働きを調べています。酵素の種類はとて多いのですが、特に微生物が持つ酵素は変わったものが多く、今でも新しい酵素が続々見つかったので、興味深い研究対象です。twitter もやっています (@sugargroove)。

しばた みちお  
**柴田 道夫**

生産・環境生物学専攻 園芸学研究室

### 主な研究活動

園芸作物は、私たちの健康で文化的な暮らしに不可欠で、わが国の産業上も大変重要な役割を果たしています。園芸作物にはモデル植物にはない複雑な多様性や環境応答性をみることができます。花きを中心に園芸作物の秘められた魅力についての研究を進めています。

かもだ しげひろ  
**鴨田 重裕**

附属演習林 樹芸研究所

### 主な研究活動

樹芸樹木ユーカリやクスノキやカカオを活かす第一次産業の可能性を発信します。先人が残してくれたユーカリ・クスノキの成木を使って材の利用法を探り、また新植や萌芽更新を行い林分の生産性を評価する試験地を作っています。特にユーカリは10年以内に見学者が息を飲むような森を仕立てて、日本林業に活力を与えたい。